

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**DISSENY, REALITZACIÓ I VERIFICACIÓ D'UN GENERADOR DE
FUNCIONS D'ALTA POTÈNCIA**



Memòria i Annexos

Autor:	Gerard Casas Treig
Director:	Jordi Cosp Vilella
Co-Director:	José Antonio Travieso Rodríguez
Convocatòria:	Juny 2018

Resum

El treball té com a principal objectiu dissenyar, realitzar i verificar un generador de funcions que es pretén utilitzar per controlar una càrrega inductiva de molt baixa impedància. Aquesta càrrega ha de generar una força oscil·lant en un prototipus de brunyidora amb bola assistit amb vibració a la punta, que millora considerablement els resultats obtinguts amb respecte una brunyidora amb bola convencional.

El mètode seguit per fer-ho ha estat caracteritzar elèctricament la càrrega, dissenyar el generador de funcions capaç de realitzar la funció requerida, muntar aquest generador dissenyat i verificar el seu funcionament.

S'han complert els objectius proposats inicialment, ja que el generador de funcions realitzat genera correctament les ones necessàries per controlar la càrrega inductiva, alhora que permet a l'usuari d'aquest seleccionar la freqüència amb precisió i ajustar l'amplitud mitjançant un entorn visual.

Com a conclusions a les quals s'ha arribat, es pot dir que s'ha realitzat amb èxit el generador de funcions proposat inicialment, permetent controlar la càrrega inductiva de molt baixa impedància.

Resumen

El trabajo tiene como principal objetivo diseñar, realizar y verificar un generador de funciones que se pretende utilizar para controlar una carga inductiva de muy baja impedancia. Esta carga debe generar una fuerza oscilante en un prototipo de bruñidora con bola asistido con vibración en la punta, que mejora considerablemente los resultados obtenidos con respecto una bruñidora con bola convencional.

El método seguido para hacerlo ha sido caracterizar eléctricamente la carga, diseñar el generador de funciones capaz de realizar la función requerida, montar este generador diseñado y verificar su funcionamiento.

Se han cumplido los objetivos propuestos inicialmente, ya que el generador de funciones realizado genera correctamente las ondas necesarias para controlar la carga inductiva, al tiempo que permite al usuario de este seleccionar la frecuencia con precisión y ajustar la amplitud mediante un entorno visual.

Como conclusiones a las que se ha llegado, se puede decir que se ha realizado con éxito el generador de funciones propuesto inicialmente, permitiendo controlar la carga inductiva de muy baja impedancia.

Abstract

The main objective of the work is to design, perform and verify a function generator that is intended to be used to control an inductive load of very low impedance. This load must generate an oscillating force in a prototype of hone with ball assisted with vibration at the end, which greatly improves the results obtained with respect a conventional hone with ball.

The method followed to do this has been to electrically characterize the load, design the function generator capable of performing the required function, mount this designed generator and verify its behavior.

The objectives initially proposed have been fulfilled, since the function generator properly generates the necessary waves to control the inductive load, while allowing the user to select the frequency accurately and adjust the amplitude through a visual environment.

As conclusions which it has been reached, it can be said that the function generator initially proposed has been successfully completed, allowing to control the inductive load of very low impedance.



Agraïments

Es vol agrair especialment al Departament de Mecànica de la EEBE que ha costejat els materials necessaris per desenvolupar el prototipus realitzat.





Índex

Resum	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Agraïments	v
1. Introducció	9
1.1. Objectius del treball	9
1.2. Abast del treball	9
2. Especificacions bàsiques	11
3. Estudi previ de les alternatives	13
3.1. Amplificador de potència.....	13
3.2. Circuit generador de les formes d'ona	13
3.2.1. Ordinador monoplaca	14
4. Descripció detallada de la solució adoptada	15
4.1. Bloc d'alimentacions	15
4.2. Bloc de generació de formes d'ona	17
4.3. Bloc de potència.....	21
5. Resultats experimentals	33
6. Planificació de les tasques per l'elaboració del treball	53
7. Materials utilitzats	55
8. Mètodes de càlcul justificatius	57
Conclusions	63
Pressupost	65
Pressupost del disseny.....	65
Pressupost del muntatge.....	65
Pressupost de la verificació	66
Pressupost total del prototipus	67
Pressupost unitari en producció en sèrie.....	67

Bibliografia	69
Annex A – Manual d’usuari i instruccions de muntatge	71
A1. Manual d’usuari	71
A2. Instruccions de muntatge	75
A2.1 Connexionat	75
A2.2 Configuració de la Raspberry Pi 3B	80
Annex B – Fulls de característiques de materials subministrats pel fabricant	85
B1. Amplificador operacional LM324-N	85
B2. Regulador de tensió L7805CV	120
B3. Regulador de tensió L7905CV	174
B4. Transistor NPN BD139	198
B5. Transistor PNP BD140	202
B6. Raspberry Pi 3B	206
B7. Carregador oficial Raspberry Pi	208
Annex C – Llistat d’ordinador de la Raspberry Pi 3B	209
C1. Codi de l’aplicació en C#	209
C2. Disseny visual de l’aplicació	211
Annex D – Plànols	213

1. Introducció

El treball consisteix en el disseny, realització i verificació d'un generador de funcions sinusoidals amb freqüència i amplitud seleccionables. Amb aquest treball es pretén donar resposta a la necessitat del departament de mecànica de la EEBE d'obtenir un generador de funcions d'aquestes característiques. Aquest es necessita per generar les vibracions d'un prototipus de brunyidora amb vibració en la punta, que permet millorar els resultats obtinguts sobre el material al aplicar aquesta vibració.

1.1. Objectius del treball

Els principals objectius d'aquest treball són:

- Caracterització elèctrica de la càrrega.
- Realització d'una etapa de potència capaç d'assolir les intensitats, tensions i freqüències necessàries.
- Implementació d'un circuit generador de funcions que permeti seleccionar a l'usuari controlar la freqüència i l'amplitud del senyal generat.
- Verificació del funcionament elèctric del generador de funcions.

1.2. Abast del treball

L'abast del treball serà el disseny i la implementació d'un generador de funcions amb un control a través d'un ordinador monoplaca Raspberry Pi, que permeti a l'usuari controlar el generador mitjançant un entorn visual.

2. Especificacions bàsiques

El generador de funcions requerit ha de servir per alimentar una bobina de molt baixa impedància que és la que genera la vibració, per lo que ha de permetre transmetre adequadament les formes d'ona generades. Al alimentar aquesta bobina amb una intensitat sinusoïdal, genera un camp magnètic que alhora genera una força oscil·lant sobre dues plaques metàl·liques. Aquesta força oscil·lant generada, es transmet per la brunyidora fins a la seva punta, generant la vibració necessària pel prototipus.

Es necessita que el generador de funcions generi un senyal sinusoïdal, on l'usuari pugui especificar la freqüència i controlar l'amplitud per ajustar la força que es necessita en funció de cada material. El rang de freqüències necessari del senyal a generar va des dels 500 Hz fins als 5 kHz. A més, és més intuïtiu per l'usuari final que el control del generador de funcions sigui mitjançant un entorn visual, que mitjançant botons i una pantalla LCD.

3. Estudi previ de les alternatives

3.1. Amplificador de potència

Per elegir el tipus d'amplificador de potència a dissenyar, s'han analitzat diverses opcions: amplificador en classe A, en classe B, en classe D, amplificador amb realimentació, etc.

Primerament, s'ha descartat l'opció de fer l'amplificador en classe A ja que, encara que presenta molt poca distorsió en el senyal amplificat, té un rendiment molt baix. També s'ha descartat l'opció de realitzar l'amplificador en classe B o push-pull, ja que distorsiona molt el senyal amplificat al tenir l'anomenada distorsió de creuament. S'ha descartat també l'amplificador en classe D ja que, encara que presenta un bon rendiment teòric, el control dels transistors en el pont complica molt la solució a implementar. Finalment, s'ha tingut en consideració realitzar una amplificació en classe AB amb realimentació, on s'amplifiqui la intensitat amb una etapa push-pull, però es compensi la distorsió que presentaria aquesta etapa amb una realimentació mitjançant un amplificador operacional. Aquest tipus d'amplificador de potència tindria un bon rendiment i a més, no presentaria molta distorsió en el senyal amplificat. Per tant, es tria l'amplificador en classe AB amb realimentació com l'amplificador de potència del generador.

3.2. Circuit generador de les formes d'ona

Per tal d'elegir el circuit que generi les formes d'ona que posteriorment es filtren i amplifiquen en l'etapa de potència, s'han tingut en consideració diverses opcions: utilitzar un microcontrolador, un ordinador monoplaca, una FPGA, circuits específics de generació de funcions, etc.

Les característiques que ha de tenir la alternativa elegida han de ser:

- Ha de poder generar un senyal quadrat d'alta freqüència (100 kHz) i de cicle de treball variable per poder generar funcions de fins a 5 kHz al filtrar-lo, lo que implica que sigui capaç de controlar temps molt petits.
- Ha de permetre que es pugui controlar en un entorn visual.

Tenint en compte lo anterior, l'única solució que permet el control mitjançant un entorn visual és la utilització d'un ordinador monoplaca, ja que els microcontroladors o les FPGA només permetrien el control mitjançant botons i una pantalla LCD. A més, els ordinadors monoplaca poden treballar

habitualment a freqüències bastant elevades, per lo que permetrien controlar temps molt petits i per tant, generar el senyal desitjat.

3.2.1. Ordinador monoplaca

Per escollir l'ordinador monoplaca adequat, s'han tingut en consideració els models desenvolupats per la Fundació Raspberry Pi, ja que són de baix cost. En concret, els models analitzats van des de la Raspberry Pi original (Model A primera generació) fins a la Raspberry Pi 3B (Model B tercera generació).

S'ha comparat la velocitat de les plaques, ja que és important per realitzar ràpidament els càlculs i generar correctament les formes d'ona; donant com ha resultat que la placa més ràpida és la Raspberry Pi 3B. També s'ha trobat que permet commutar els seus pins a la velocitat necessària per generar l'ona quadrada desitjada.

Per totes les raons esmenades, es tria com a circuit generador d'ona la Raspberry Pi 3B, que es pot veure en la Figura 3.1..



Figura 3.1. Raspberry Pi 3B. (Font: Annex B6.)

4. Descripció detallada de la solució adoptada

Per tal de dissenyar correctament el generador de funcions, es va caracteritzar elèctricament la càrrega que aquest ha de controlar.

Es va mesurar la càrrega amb un medidor d'inductàncies per tal de determinar quina inductància presentava, donant com a resultat que té 664 μH . També es va mesurar la resistència paràsita que presenta la càrrega, donant com a resultat 1,2 Ω .

Un cop obtinguts aquests dos valors, ja està caracteritzada elèctricament la càrrega. Aquesta es pot modelitzar amb el model que es mostra en la Figura 4.1..

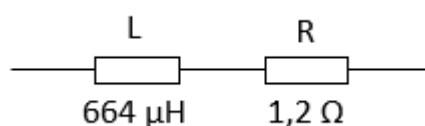


Figura 4.1. Model elèctric de la càrrega.(Font: Pròpia)

A més de determinar les característiques elèctriques de la càrrega, es va realitzar un amplificador en classe B sense realimentar per tal d'observar la seva resposta al rebre un senyal sinusoïdal. Per generar el senyal que posteriorment s'amplificava en l'amplificador, es va utilitzar un generador de funcions (DG-1022).

Una vegada caracteritzada la càrrega, es va procedir al disseny del generador de funcions. Aquest està format per 3 blocs principals:

- **Bloc d'alimentacions:** És l'encarregat de subministrar l'energia necessària a tots els elements del generador.
- **Bloc de generació de formes d'ona:** És l'encarregat de generar les formes d'ona que seran posteriorment filtrades i amplificades.
- **Bloc de potència:** És l'encarregat de filtrar i amplificar les formes d'ona generades en l'anterior bloc, i transmetre aquestes a la càrrega.

4.1. Bloc d'alimentacions

El generador de funcions dissenyat necessita alimentació tant pel bloc de potència com pel bloc de generació de formes d'ona. El bloc de generació de formes d'ona, format per la Raspberry Pi 3B,

necessita una tensió de 5,1 V amb capacitat per aportar fins a 2,5 A. El bloc de potència en canvi, necessita una alimentació formada per dues tensions, 5 V i -5 V, i massa i amb la capacitat d'aportar fins a 1 A de intensitat en cadascuna de les tensions. Cal dir que per igualar la referència de tensió de la Raspberry amb la del bloc de potència, per tal de que corresponguin els nivells de tensió presents en els pins de la Raspberry amb els del bloc de potència, caldrà connectar un pin de 0 V de la Raspberry amb la massa del circuit de potència.

Per l'alimentació del bloc de generació de formes d'ona, s'ha utilitzat la font d'alimentació oficial de la Raspberry Pi 3, ja que proporciona directament l'alimentació que necessita aquest bloc.

Per l'alimentació del bloc de potència, s'ha hagut de dissenyar un circuit on se li entrin dues tensions positives de 7,5 V rectificades a doble ona i amb baixa rissada, i on han de sortir dues tensions regulades, de 5 V i de -5 V, i massa, per tal d'alimentar correctament el bloc de potència.

Les dues tensions de 7,5 V provenen de dos carregadors de paret d'1 A, que aporten una tensió de 7,5 V amb baixa rissada i baix soroll, i que a més tenen proteccions contra curtcircuits i sobrecarregues.

En la Figura 4.2. es mostra el circuit que permet obtenir les tensions requerides pel bloc de potencia.

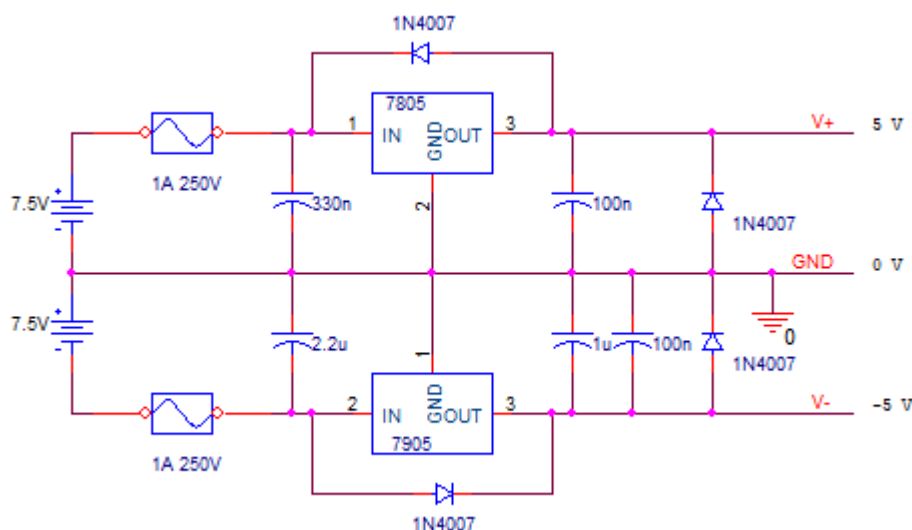


Figura 4.2. Esquema electrònic del bloc d'alimentacions del generador.(Font: Pròpia)

Es pot observar que aquest circuit està format per dos reguladors de tensió, per la tensió de 5 V el 7805 i per la tensió de -5 V el 7905. A més, aquest circuit porta dos fusibles d'1 A per tal de protegir el circuit contra intensitats superiors a aquest valor. També se li ha incorporat un sistema de protecció contra inversió de polaritat instantània en la tensió de sortida i un sistema de protecció contra intensitats negatives (de signes contraris als acceptat pels reguladors de tensió). A la sortida d'aquest circuit, s'obtenen les dues tensions desitjades de 5 V i -5 V, i la massa del circuit de potència.

Per mantenir a una temperatura adequada els reguladors de tensió utilitzats, se'ls han col·locat dissipadors compatibles amb el seu encapsulat (TO-220).

El circuit muntat del bloc d'alimentacions es pot veure en la Figura 4.3..

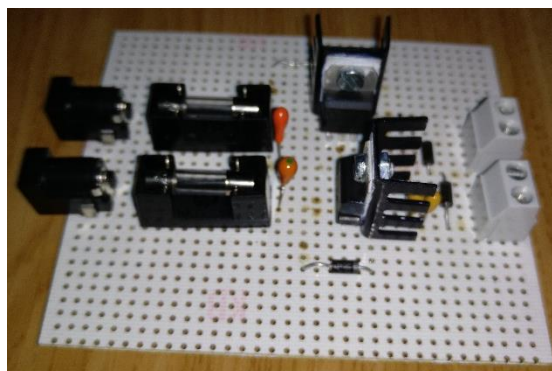


Figura 4.3. Circuit muntat del bloc d'alimentacions del generador.(Font: Pròpia)

4.2. Bloc de generació de formes d'ona

Aquest bloc està format per l'ordinador monoplaca escollit: Raspberry Pi 3B. Aquest s'encarrega de generar els polsos PWM (modulació per amplada de polsos), que en el valor mig d'aquesta ona formada pels polsos, s'obté la sinusoïdal amb l'amplitud i la freqüència desitjades.

La tècnica del PWM consisteix en anar variant el cicle de treball d'una ona periòdica generada, en aquest cas quadrada, per controlar el valor mig d'aquest senyal.

En el generador de funcions dissenyat, s'obté una ona sinusoïdal a partir dels polsos generats amb la tècnica del PWM. Primer, es filtren adequadament els polsos PWM generats, obtenint el senyal sinusoïdal en tensió que serà posteriorment amplificat. Aquest senyal sinusoïdal en tensió i amplificat generarà un senyal sinusoïdal en intensitat sobre la càrrega inductiva ja que, com es comporta principalment com una inductància, integrarà el senyal sinusoïdal en tensió generant un senyal sinusoïdal en intensitat, encara que no estarà en fase respecte al primer. En concret, es generen polsos PWM que com a valor mig en tensió continguin una sinusoïdal unipolar (valor mig igual a l'amplitud d'aquesta), ja que els pins de la Raspberry únicament permeten dos estats (estat baix: 0 V i estat alt: 3,3 V) i per tant, no permet generar directament un senyal bipolar. Aquest senyal serà posteriorment filtrat, mitjançant un filtre passa-banda, per extreure directament un senyal sinusoidal altern, on el seu valor mig sigui 0 V.

En el senyal PWM, el cicle de treball necessari per assolir un cert valor mig en un instant concret és exactament aquest valor mig normalitzat, tal com s'aprecia en l' Eq. 4.1..

$$\delta_{instantani} = \frac{\bar{u}_{instantani}}{u_{m\grave{a}xim}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Com que el cicle de treball és la relació entre el temps en estat alt amb respecte al període del senyal PWM Eq. 4.2., i com que el període és la suma del temps en estat alt del senyal i del temps en estat baix Eq. 4.3, en aquest cas el temps en estat alt seria calculat mitjançant l' Eq. 4.4 i el temps baix amb l' Eq. 4.5..

$$\delta = \frac{t_{ON}}{T} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

$$\delta = t_{ON} + t_{OFF} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$t_{ON} = \delta * T = \frac{\bar{u}_{instantani}}{u_{m\grave{a}xim}} * T \quad (\text{Eq. 4.4})$$

$$t_{OFF} = \delta - t_{ON} = \frac{\bar{u}_{instantani}}{u_{m\grave{a}xim}} - \frac{\bar{u}_{instantani}}{u_{m\grave{a}xim}} * T = \frac{\bar{u}_{instantani}}{u_{m\grave{a}xim}} (1 - T) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

La freqüència elegida pel PWM del generador de funcions és 100 kHz, ja que no es excessivament elevada, però també és 20 vegades més gran que la freqüència màxima de la sinusoidal que es pot arribar a generar. Per tant, el període del senyal PWM del generador és de 10 µs.

A l'hora de programar la Raspberry Pi, el llenguatge escollit per generar l'aplicació visual que generés els polsos PWM ha estat C#. Un cop generada l'aplicació mitjançant el programa Visual Studio, es possible executar-la en el entorn de la Raspberry Pi clicant en la seva icona d'escriptori, en que s'ha utilitzat com a sistema operatiu Raspbian. Aquest programa es pot executar en un sistema Linux gràcies a utilitzar el programa Monodevelop. En l' Annex A2.2. s'indiquen els passos a seguir per poder executar aplicacions generades amb C# en la Raspberry Pi mitjançant Monodevelop.

Per tal de poder controlar temps de l'ordre de microsegons, C# només permet fer "delays" de l'ordre dels mil·lisegons. Per resoldre aquest problema que impossibilitaria completament la generació del senyal PWM, s'ha utilitzat un temporitzador intern de la Raspberry Pi a través de la classe de C# Stopwatch (1). Aquesta classe permet saber quantes vegades desborda un temporitzador intern, i dividint aquest valor entre la freqüència d'aquest temporitzador, conèixer en temps que ha passat. Consultat aquest temps en un bucle que comprova si ha passat un cert temps, permet fer un "delay" manual de µs en el cas que es facin els corresponents factors de conversió. I utilitzant aquest "delay" manual, es pot temporitzar els temps en estat alt i estat baix que es necessiten en cada període del senyal PWM del generador, solucionant així el problema.

En aquest cas concret, cal controlar l'encesa i l'apagat d'un pin de la Raspberry Pi. Durant el temps en estat alt del PWM (t_{ON}) el pin estarà en estat alt (3,3 V) i durant el temps en estat baix del PWM (t_{OFF}) estarà en estat baix (0 V).

Per tal de poder controlar el pin de la Raspberry Pi mitjançant C#, s'ha utilitzat la llibreria WiringPi (2). Aquesta permet activar i desactivar els GPIO (pins d'entrada o de sortida d'ús general) de la Raspberry Pi des de C#, sempre i quan s'adapti per utilitzar-la en C#, ja que originalment està realitzada per utilitzar-se en C. En l'Annex A2.2. s'indica com adaptar-la en la part de configuració de la Raspberry Pi.

El pin que s'utilitzen de la Raspberry Pi per generar el senyal PWM és el 33. Es pot observar la distribució dels pins en la Raspberry Pi en la Figura 4.4..

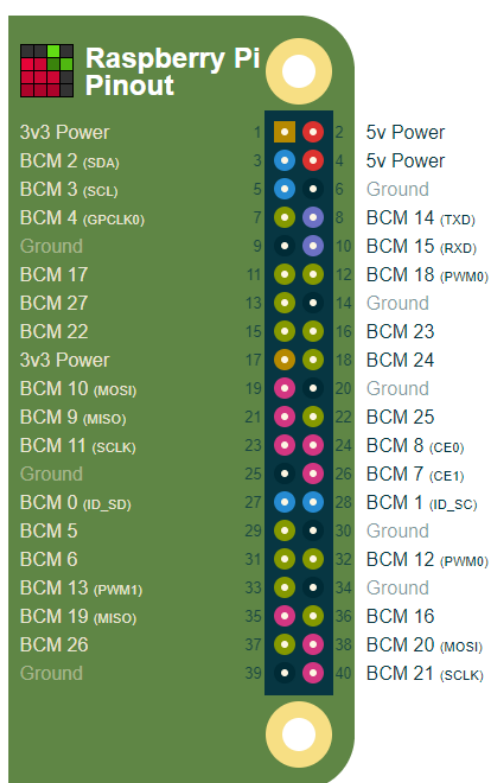


Figura 4.4. Distribució dels pins en la Raspberry Pi 3B.(Font:(3))

Per tal de permetre parar el programa mentre que en segon pla es genera el senyal PWM en el pin de la Raspberry Pi, es crea un procés en segon pla que s'activa quan l'usuari prem el botó "Començar la generació". Aquest procés s'encarrega de generar el senyal PWM mentre que el programa principal continua funcionant a l'espera que l'usuari vulgui parar la generació del senyal PWM, polsant sobre el botó "Parar la generació". El procés es genera mitjançant la classe de C# Thread (4), que permet crear processos en segon pla al procés principal. D'aquesta manera no es bloqueja el programa durant la generació del senyal PWM, permetent parar-la quan vulgui l'usuari del generador.

Per determinar quin ha de ser el valor mig en cada instant per generar correctament la sinusoidal amb el percentatge d'amplitud i la freqüència desitjats per l'usuari del generador, es necessita realitzar una sèrie de càlculs. Primerament, cal dividir la freqüència de l'ona a generar entre la freqüència del senyal PWM i multiplicar el resultat per 360, per conèixer quin ha de ser l'increment de l'angle de la sinusoidal per cada cicle del senyal PWM. Un cop calculat aquest increment, cal anar avaluant en cada iteració del senyal PWM el valor del sinus de l'angle d'aquell instant mitjançant el mètode de C# Math.Sin (5), i incrementar, amb el valor del increment calculat prèviament, el valor del angle a calcular en la següent iteració. Un cop obtingut el valor del sinus de l'angle actual, cal multiplicar-ho pel percentatge d'amplitud desitjat.

Aquest resultat anterior serà el valor mig a aconseguir en aquell instant amb respecte al màxim valor possible ($u_{\text{màxim}}$). Per tant, es calculen els temps en microsegons en estat alt i en estat baix del senyal PWM amb l' Eq. 4.6. i l' Eq. 4.7. respectivament, on el multiplicador és el valor que s'acaba de calcular i T es l'invers de la freqüència del senyal PWM ($1/\text{freqüència}_{\text{PWM}}$) en Hz.

$$t_{ON} = \text{multiplicador} * T * 10^6 \quad (\text{Eq. 4.6})$$

$$t_{OFF} = T * 10^6 - t_{ON} = (1 - \text{multiplicador}) * T * 10^6 \quad (\text{Eq. 4.7})$$

A partir de conèixer aquests temps d'aquest cicle del senyal PWM, es posa el pin 33 en estat alt per tal de generar l'estat alt del senyal PWM i s'utilitza un “delay” manual durant el temps t_{ON} . Posteriorment, es posa el pin 33 en estat baix per generar l'estat baix del senyal PWM durant el temps t_{OFF} . Repetint tot aquest procés durant els cicles corresponents als 360° del senyal sinusoidal, es genera un cicle sencer d'aquest senyal; i repetint aquest procés indefinidament fins que l'usuari vulgui aturar la generació del senyal, es genera el senyal PWM corresponent a l'ona sinusoidal amb el percentatge d'amplitud i la freqüència desitjades per l'usuari del generador de funcions.

El programa permet la introducció de la freqüència i el percentatge d'amplitud en l'aplicació visual mitjançant dos Listbox (6), que permeten seleccionar a l'usuari la freqüència i el percentatge d'amplitud desitjats. En aquestes llistes, es poden triar la freqüència i el percentatge d'amplitud entre una sèrie de valors predefinitos, que van en el cas de la freqüència des dels 500 Hz fins als 5 kHz, i en el cas del percentatge d'amplitud des del 30 % fins al 100%. Si l'usuari no especifica inicialment quins han de ser els valors del senyal a generar, aquest s'estableixen en 5 kHz i 100%.

Un cop introduïts els valors desitjats del senyal a generar, si es polsa sobre el botó “Començar la generació”, es començaria a generar l'ona PWM en segon pla, i es desactivarien les possibilitats de canviar els paràmetres seleccionats i de polsar novament sobre aquest botó, gràcies a la utilització de la propietat de C# Enabled (7). També s'activaria l'opció de polsar sobre el botó “Parar la generació”, per permetre parar la generació del senyal PWM.

Quan es vulgui parar la generació o canviar algun paràmetre del senyal generat, s'ha de pulsar sobre el botó "Parar la generació" i es pararia la generació del senyal generat. A més, també s'activarien les possibilitats de seleccionar novament les característiques del senyal generat i de pulsar sobre el botó "Començar la generació"; i es desactivaria l'opció de pulsar novament sobre el botó "Parar la generació".

En la Figura 4.5. es pot observar una captura de l'aplicació realitzada. El codi en llenguatge C# del programa del generador de funcions i la distribució dels components en el disseny en Visual Studio es poden consultar en l'Annex C1. i l'Annex C2..

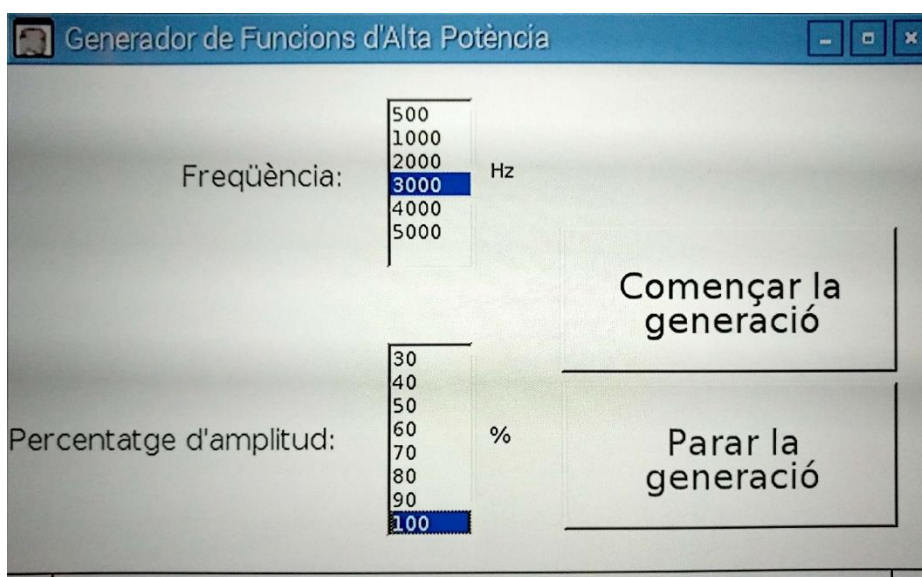


Figura 4.5. Captura de l'aplicació de control del generador de funcions.(Font: Pròpia)

4.3. Bloc de potència

Aquest bloc està format per un filtre passa-banda actiu de segon ordre MFB ("Multiple-Feedback" o realimentació múltiple) i un amplificador en classe AB realimentat. Primerament, aquest bloc filtra els polsos PWM provinents del bloc de generació de formes, obtenint una sinusoïdal centrada en 0 V, i finalment amplifica l'amplitud en tensió del senyal mentre que alhora permet lliurar la intensitat que necessiti la càrrega. La pròpia càrrega inductiva es l'encarregada d'aconseguir el senyal sinusoïdal en corrent, ja que segons l'Eq. 4.8. la intensitat seria proporcional a la integral del voltatge.

$$V_L = L * \frac{d(I_L)}{dt} \rightarrow I_L = \frac{1}{L} \int V_L * dt \quad (\text{Eq. 4.8})$$

En el cas concret d'una sinusoidal, la intensitat resultant seria la integral d'una sinusoidal, que es una cosenoidal negativa, però no deixa de ser una altre sinusoidal amb diferent fase que la original.

Començant pel filtre passa-banda dissenyat, s'ha escollit un filtre actiu de segon ordre MFB, ja que permet ajustar independentment la freqüència mitjana, el guany d'aquesta freqüència mitjana, i el factor de qualitat del filtre. En concret, s'encarrega de filtrar el senyal PWM de 100 kHz per extreure el seu valor mig, alhora que centra la sinusoidal en 0 V. Aquest filtre, ha de permetre passar les freqüències compreses entre els 500 Hz i els 5 kHz i atenuar la resta de freqüències.

L'esquema del filtre passa-banda MFB dissenyat es mostra en la Figura 4.6..

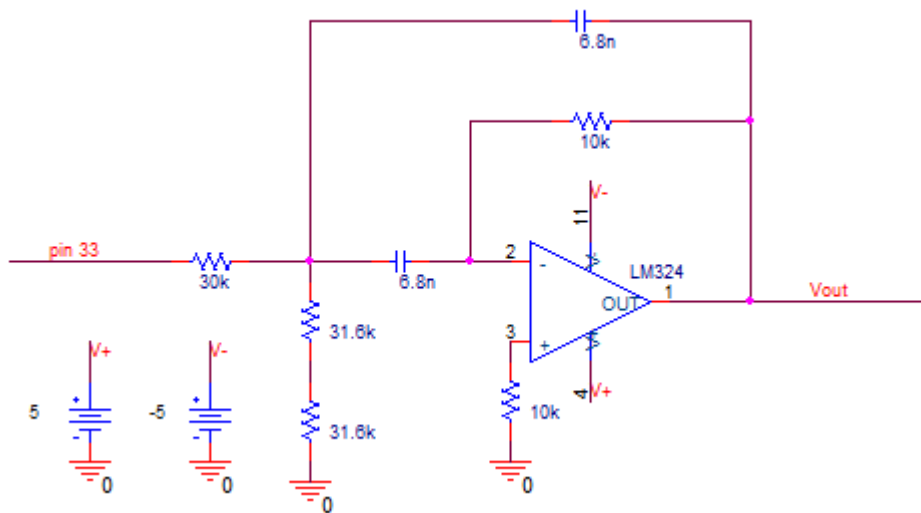


Figura 4.6. Esquema electrònic del filtre MFB dissenyat. (Font: Pròpia)

Com es pot observar, presenta una doble realimentació negativa, com indica el seu nom (MFB). En l' Apartat 8. s'indiquen els càlculs que s'han realitzat per seleccionar el valor dels components utilitzats.

Els components s'han triat per aconseguir una amplificació en la freqüència mitjana d'1/6 (0,167), ja que s'ha de complir que el factor de qualitat (Q), que en aquest cas ha de ser de 0,35, sigui igual o superior a l'arrel quadrada de la meitat de l'amplificació, per a que funcioni correctament el filtre, tal i com es mostra en l' Eq. 4.9..

$$Q \geq \sqrt{\frac{A_m}{2}}; \quad 0,35 \geq \sqrt{\frac{0,167}{2}} = 0,289 \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Aquest filtre presenta un desfàs de 180° entre l'entrada i la sortida, però no afecta negativament en aquest cas.

S'ha simulat en Proteus la resposta del filtre a diferents freqüències dels senyals d'entrada, obtenint el seu guany i la seva fase per un rang de freqüències comprès entre 1 Hz i 1 MHz, tal i com es mostra en la Figura 4.7..

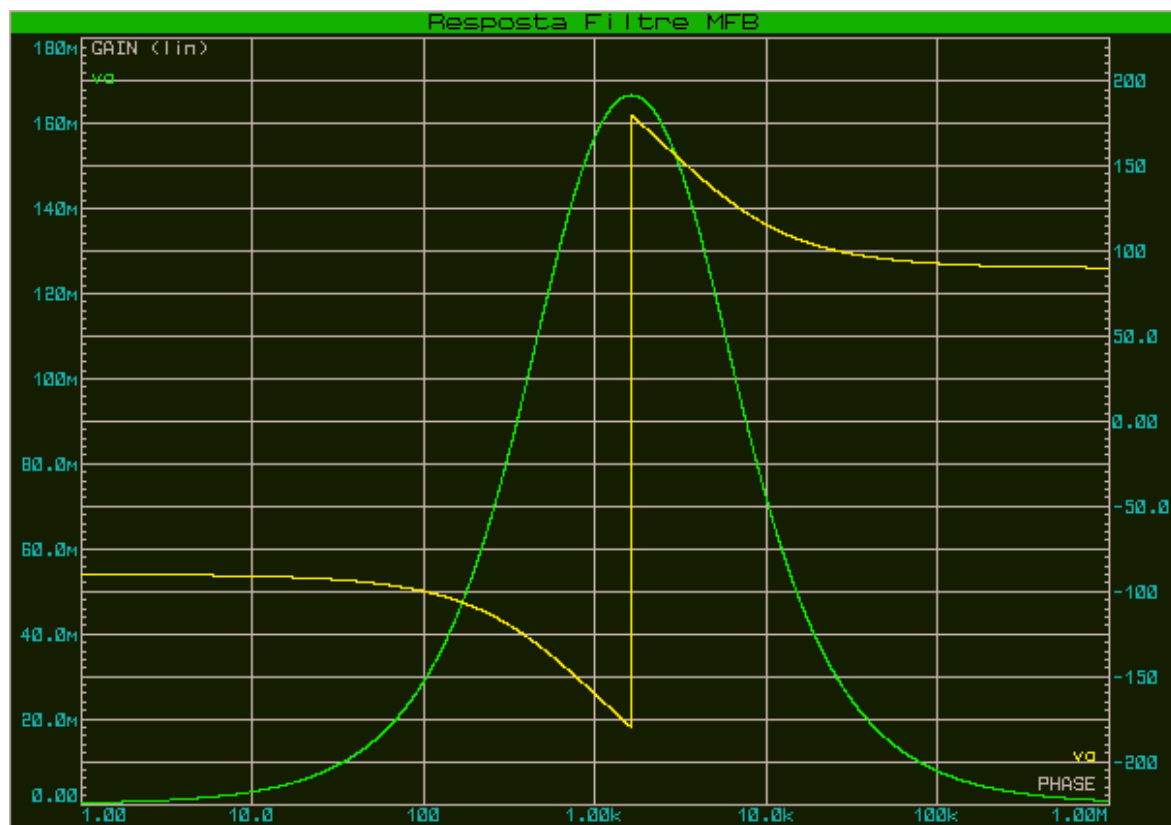


Figura 4.7. Guany (verd) i fase (groc) respecte a un rang de freqüències comprès entre 1 Hz i 1 MHz del filtre MFB dissenyat, simulat amb Proteus (Font: Pròpia)

Es pot veure en la figura anterior que no atenua excessivament les freqüències que ha de deixar passar, mentre que atenua molt les freqüències de 0 Hz i de 100 kHz, que són les que es volen atenuar. També es veu que la fase és de 180° o pròxima per freqüències superiors a la freqüència mitjana seleccionada, i de -180° per les freqüències superiors aquesta, però com que $-180^\circ + 360^\circ$ són 180°, això vol dir que no hi ha un salt real en la fase del senyal generat.

L'amplificador operacional utilitzat és el LM324, que com es pot veure en l'Annex B1., és un xip que porta 4 amplificadors operacionals integrats, ja que es necessita un altre amplificador operacional en l'amplificador en classe AB realimentat, és de simple alimentació (permetent donar a la sortida el seu voltatge d'alimentació negatiu) i té un ample de banda d'1 MHz.

Després de la part dels filtres, ve la part de l'amplificador realimentat. Aquest amplificador aporta el corrent necessari a la càrrega a partir d'utilitzar un amplificador en classe B, format per transistors

BD139 (NPN) i BD140 (PNP). Les característiques d'aquests transistors es poden consultar en l'Annex B4. (BD139) i en l'Annex B5. (BD140). Si no es posés una realimentació, es generaria molta distorsió en el senyal de sortida de l'amplificador en classe B, degut a la distorsió de creuament dels transistors. Per això, es posa una realimentació formant un amplificador en classe AB realimentat. Per mantenir a una temperatura adequada els transistors utilitzats, se'ls han col·locat dissipadors compatibles amb el seu encapsulat (TO-126).

Per tal d'assegurar el correcte funcionament de l'amplificador realimentat, cal assegurar que l'amplificador operacional utilitzat pugui donar el senyal de control dels transistors per a compensar la distorsió de creuament dels transistors, i assegurar que en la sortida de l'amplificador hi hagi el senyal desitjat. Per fer-ho, cal assegurar que l'operacional tingui suficient ample de banda i "Slew Rate" com per seguir el senyal d'entrada, que en aquest cas són els adequats. A més, cal assegurar que no es superi el corrent màxim que l'operacional pot subministrar (40 mA), i per aquesta raó no es connecta directament la sortida de l'operacional a les bases dels transistors, si no que es posen uns altres transistor entre mitges per així es disminueixi el corrent que ha de subministrar l'amplificador operacional en β vegades (guany dels transistors).

També s'han col·locat díodes 1N4007 entre col·lector i emissor dels transistors que connecten amb la càrrega, ja que protegeixen a aquests transistors de corrents negatives (contraries a les acceptades pels transistors) sol·licitades per la càrrega inductiva.

En ves de fer una realimentació unitària en l'amplificador amb realimentació, s'ha decidit fer-lo en muntatge no-inversor, per tal de que amplifiqui el senyal filtrat, i així poder compensar l'atenuació de 6 que presenta el filtre, i inclús augmentar més el marge d'actuació en quan a amplitud de sortida, ja que aquesta es pot ajustar per software (bloc de generació de formes d'ona). En l'Eq. 4.10. es mostra el guany en tensió de la sortida d'un amplificador en muntatge no-inversor com l'utilitzat en l'amplificador realimentat.

$$Guany = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

On R2 és la resistència que hi ha entre la entrada i la sortida de l'amplificador, i R1 és la resistència que està connectada entre massa (0 V) i l'entrada no-inversora de l'amplificador operacional.

En concret, s'ha escollit un guany de 13, ja que permet amplificar el senyal sinusoïdal provinent del filtratge del PWM que s'havia atenuat en 6 cops, compensant aquesta atenuació i inclús augmentant-la més del doble amb respecte al senyal que sortiria de filtrar-ho sense atenuació. Per fer-ho, cal que la resistència R2 sigui 12 cops més gran que l'altre, per lo que s'ha triat R1 d'1 k Ω i R2 de 11,8 k Ω .

L'esquema general, realitzat amb el programa PSpice, que sorgeix com a resultat de tot lo explicat en aquest apartat, es pot observar en la Figura 4.8..

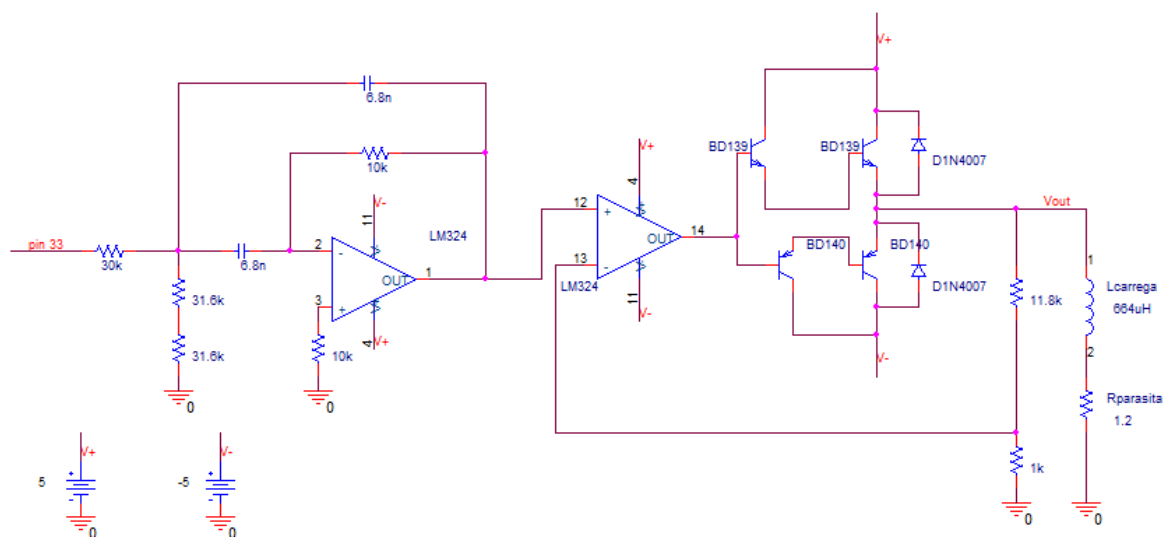


Figura 4.8. Esquema electrònic del filtre i de l'amplificador realimentat, on les alimentacions del circuit provenen del bloc d'alimentacions.(Font: Pròpia)

Per comprovar el correcte funcionament de l'amplificador, s'ha simulat per diferents freqüències contingudes en el marge que l'amplificador es capaç d'aconseguir (500 Hz – 5 kHz) i diferents percentatges d'amplitud.

Els resultats de les intensitats i tensions de sortida es poden observar en les figures contingudes entre la Figura 4.9. i la Figura 4.20..

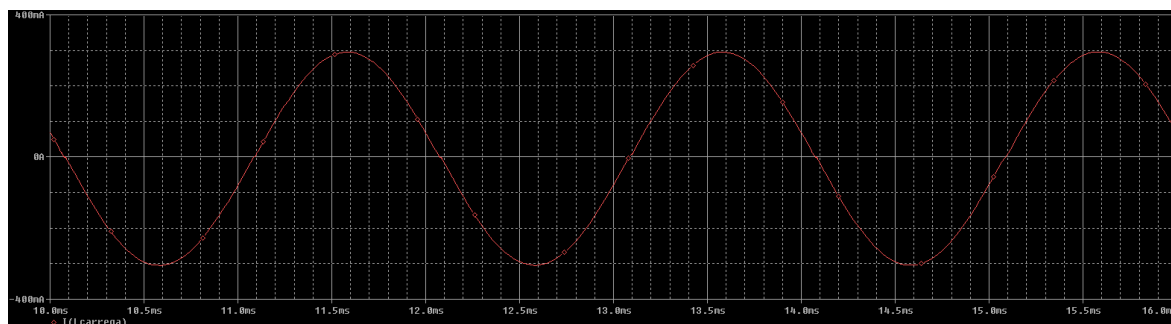


Figura 4.9. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 100 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

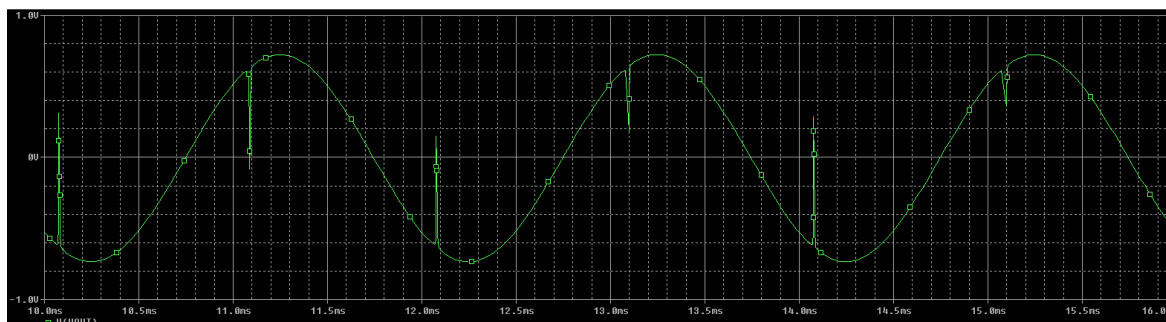


Figura 4.10. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mV/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

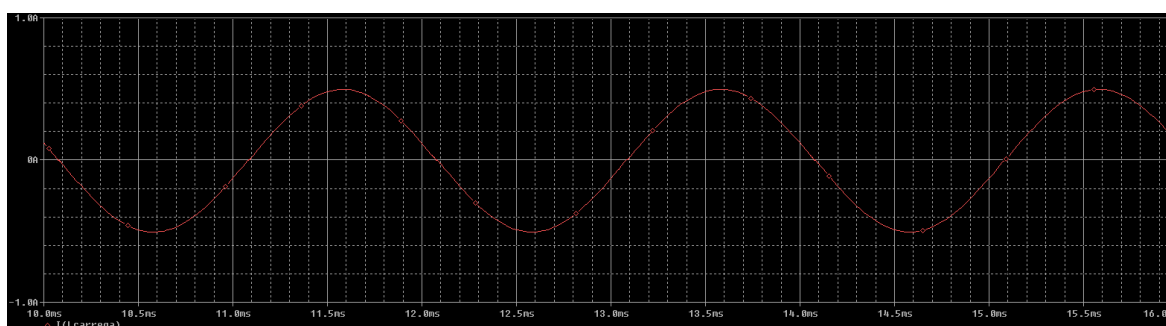


Figura 4.11. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

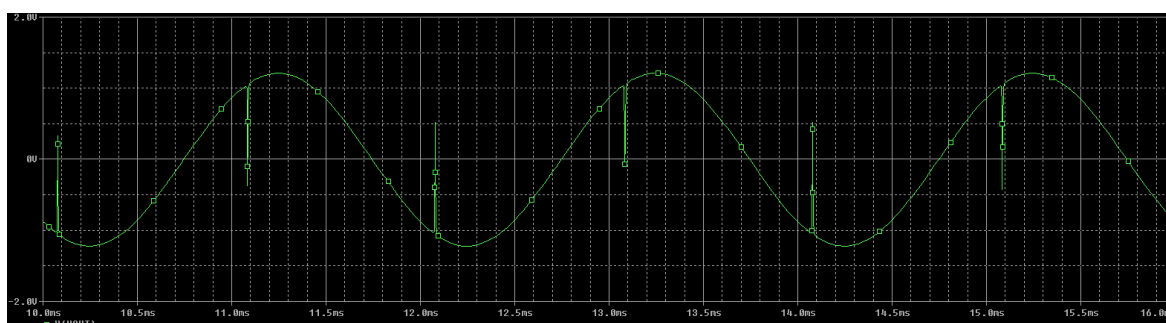


Figura 4.12. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 500 mV/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

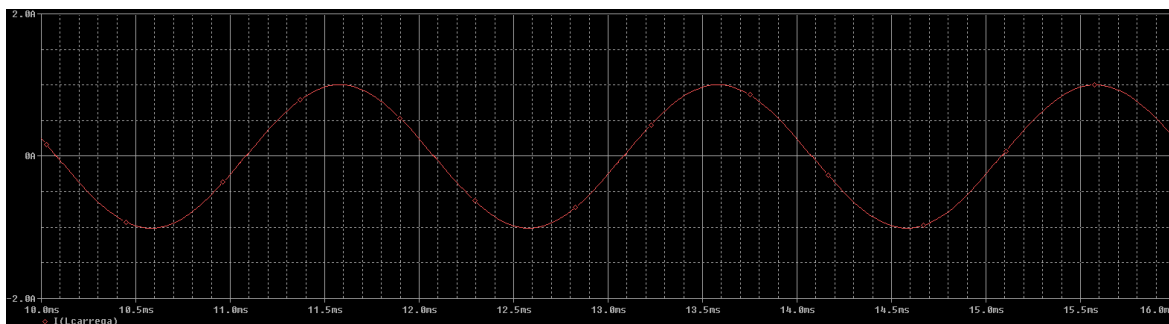


Figura 4.13. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 500 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

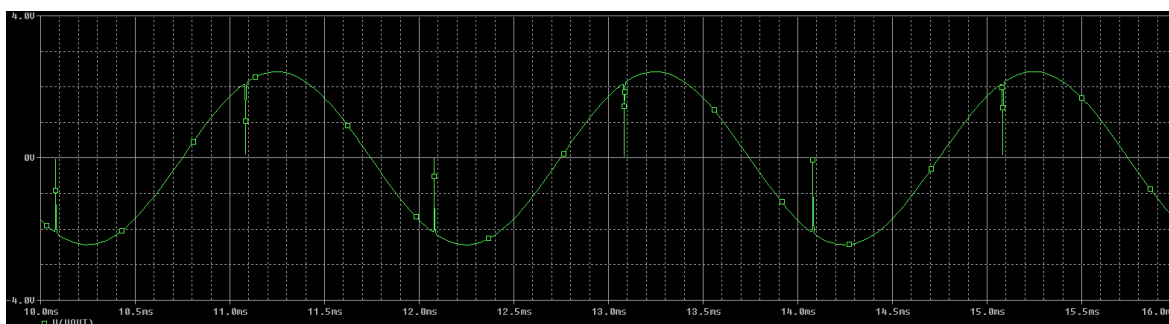


Figura 4.14. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

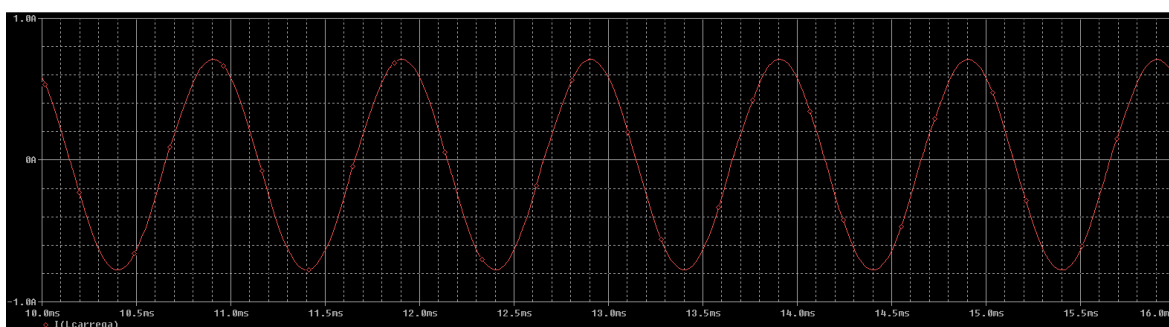


Figura 4.15. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal d'1 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

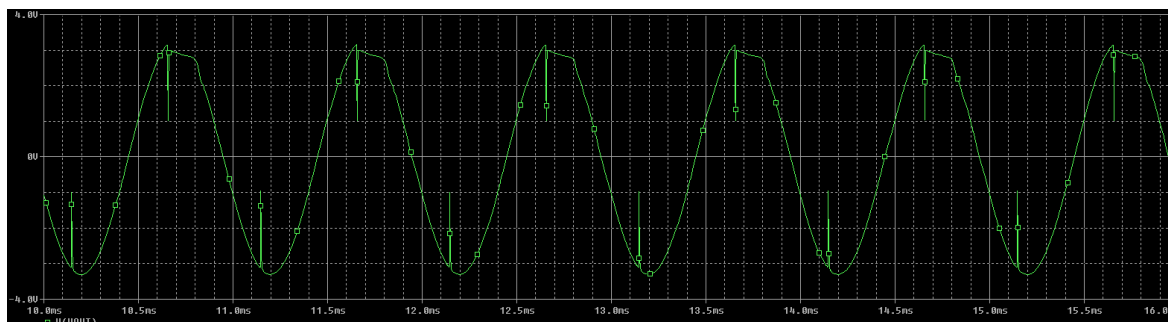


Figura 4.16. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal d'1 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

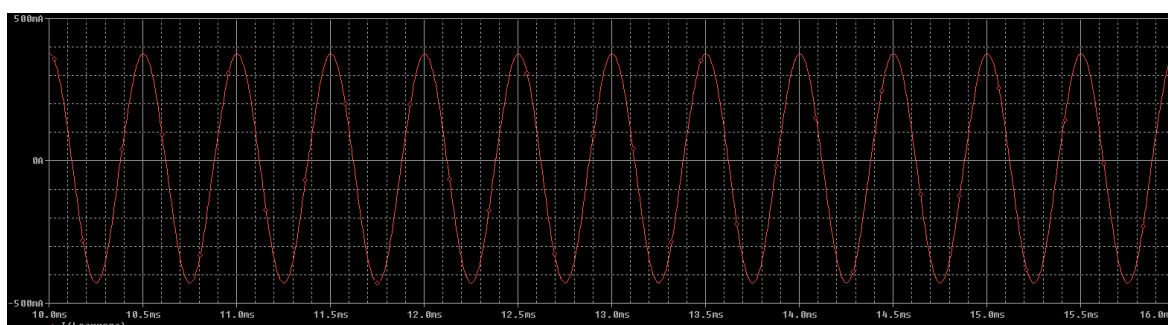


Figura 4.17. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 100 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

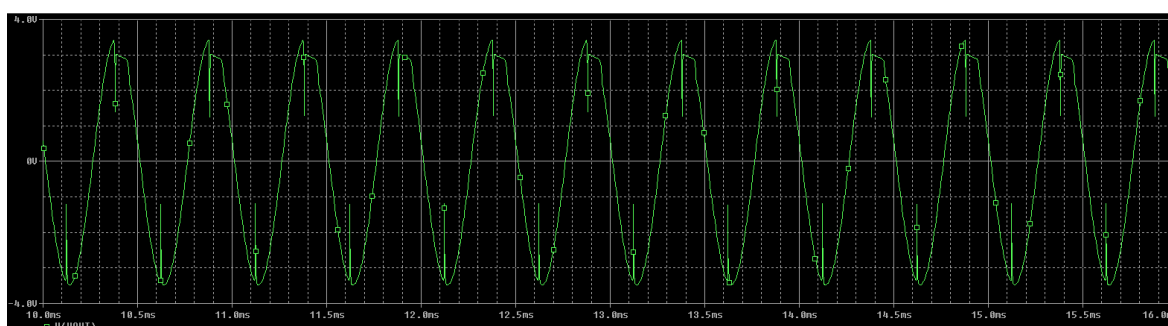


Figura 4.18. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

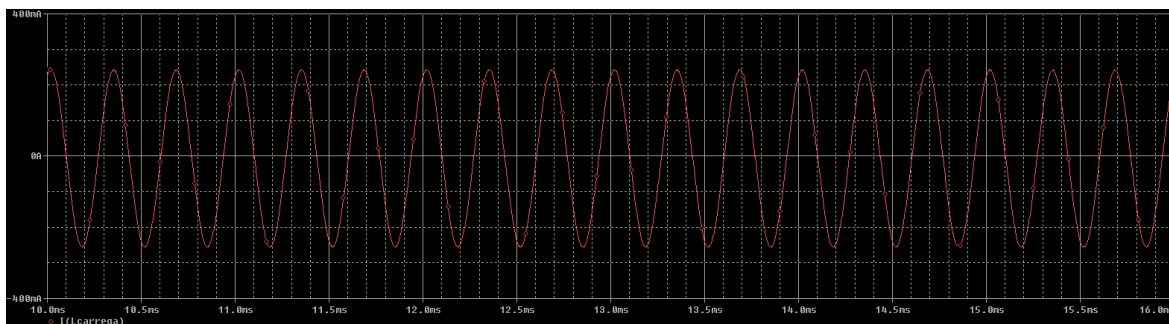


Figura 4.19. Simulació en PSpice de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 100 mA/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

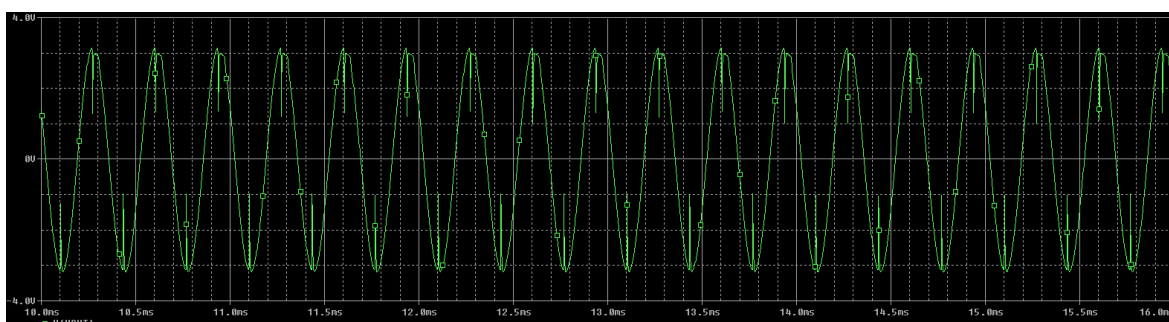


Figura 4.20. Simulació en PSpice de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 100 us/div).(Font: Pròpia)

Es pot observar que genera correctament els senyals per a cadascuna de les freqüències, a més que permet variar l'amplitud del senyal generat com es mostra en les figures contingudes entre la Figura 4.9. i la Figura 4.14.

S'aprecia que en la tensió de sortida que percep la càrrega, tendeix cap a 0 V instantàniament, just en els punts on canvia la polaritat del senyal en intensitat. Això es degut a que la inductància intenta mantenir la intensitat que hi circula per ella, per lo que canvia la polaritat del voltatge entre els seus bornes per aconseguir-ho. Tot i així, això no afecta negativament a l'aplicació per la qual s'ha dissenyat l'amplificador, ja que el que interessa es que la intensitat oscil·li per generar la força oscil·lant desitjada.

El circuit realitzat i implementat del bloc de potència es pot veure en la Figura 4.21..

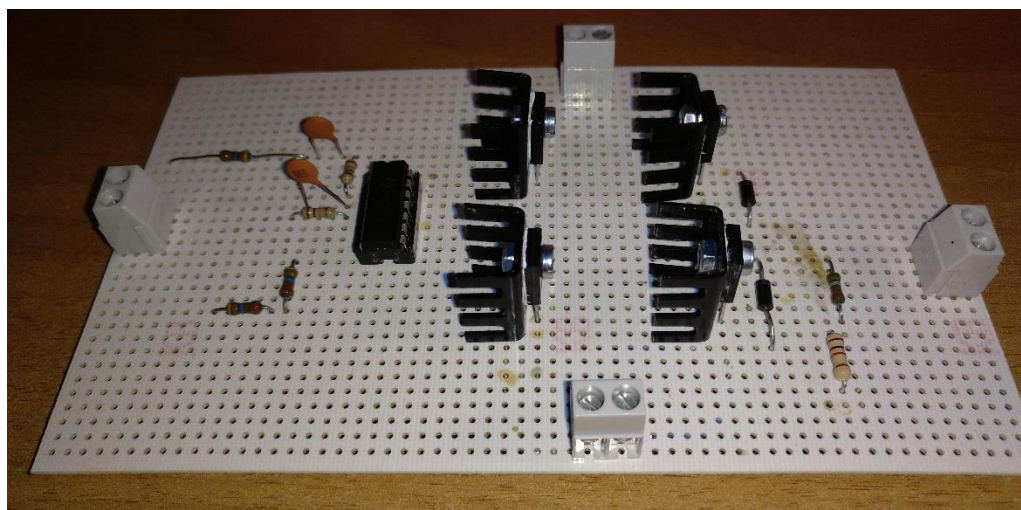


Figura 4.21. Circuit muntat del bloc de potència del generador.(Font: Pròpia)

En aquesta figura es pot veure a l'esquerra l'entrada de la part del bloc de generació de formes d'ona, seguit pel filtre passa-banda de segon ordre MFB implementat. A dalt i a baix de la figura estan les entrades d'alimentació provinents del bloc d'alimentacions (a dalt 5 V i a baix -5 V i GND). Entre mitges estan els transistors que formen part de l'amplificador realimentat. A la dreta d'aquests, estan els díodes que protegeixen els transistors i les resistències que determinen l'amplificació de l'amplificador realimentat. I finalment, a la dreta surten les connexions que van cap a la càrrega (Vout i GND).

El generador de funcions realitzat, que s'obté a partir dels diferents blocs que el formen es pot observar en la Figura 4.22. i en la Figura 4.23..

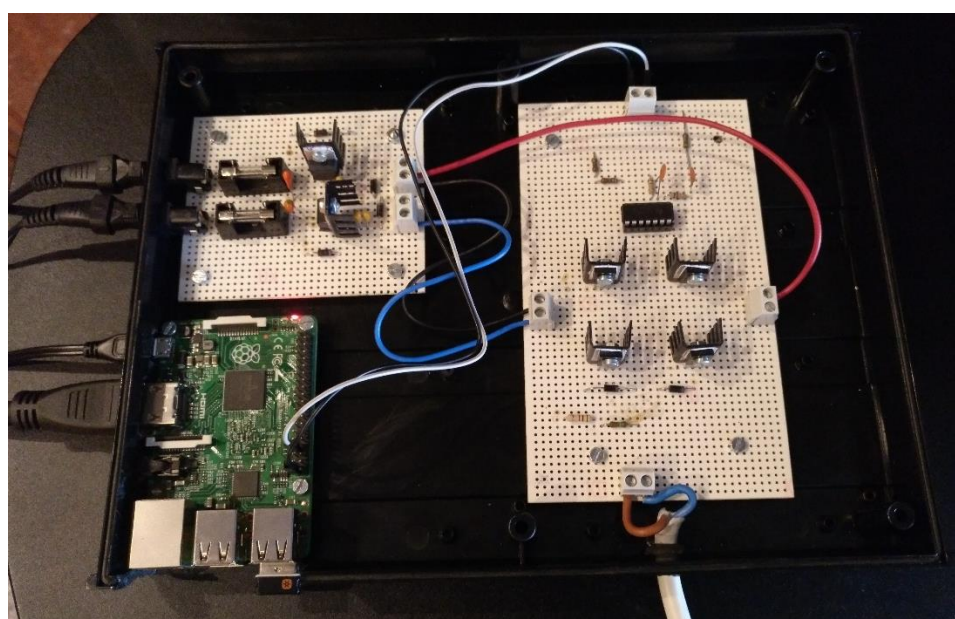


Figura 4.22. Generador de funcions realitzat sense el recobrint superior de la capsa.(Font: Pròpia)



Figura 4.23. Generador de funcions realitzat amb el recobriment superior de la capsa.(Font: Pròpia)

5. Resultats experimentals

Els resultats de la verificació del comportament del generador de funcions al intentar generar funcions a unes determinades freqüències i percentatges d'amplituds, es mostren en les figures contingudes entre la Figura 5.1. i la Figura 5.36..

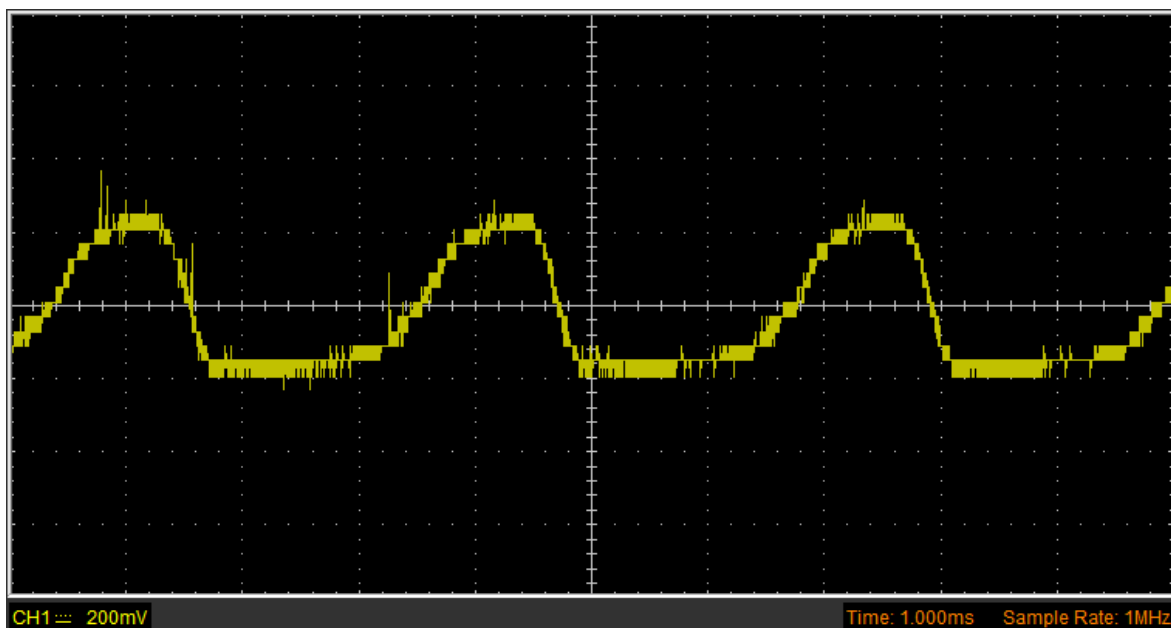


Figura 5.1. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 500 Hz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

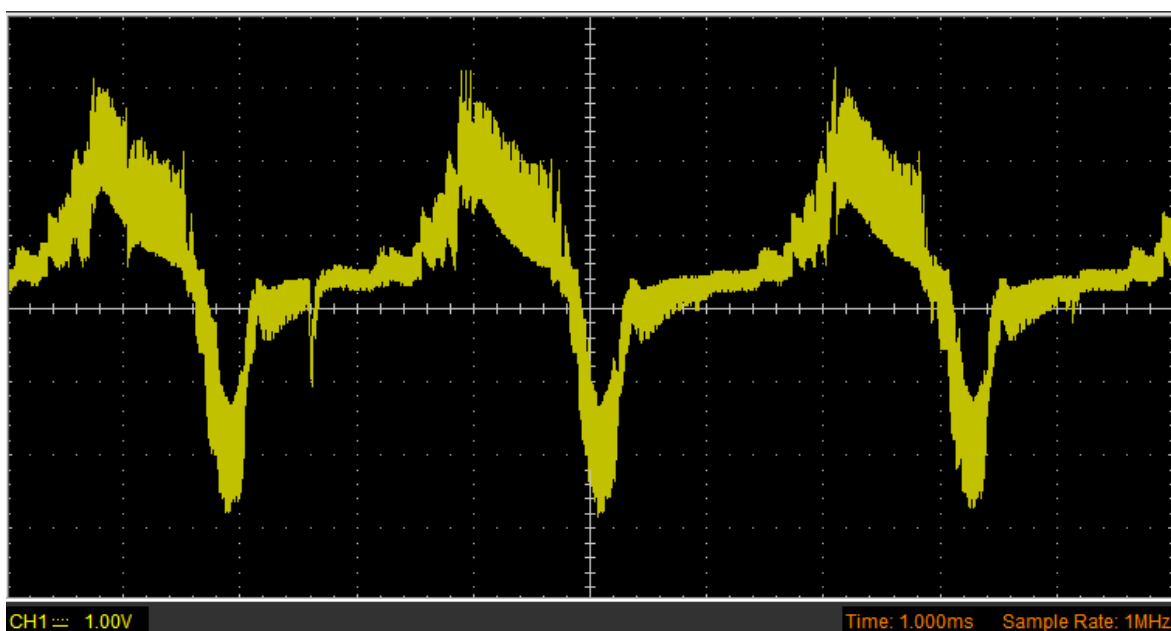


Figura 5.2. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

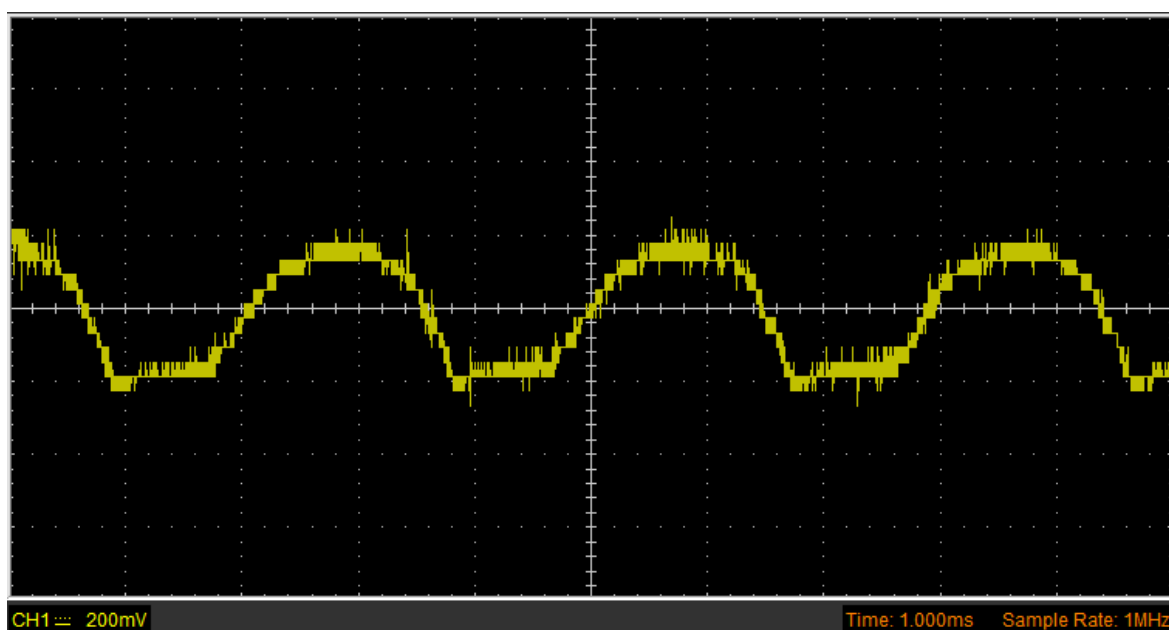


Figura 5.3. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

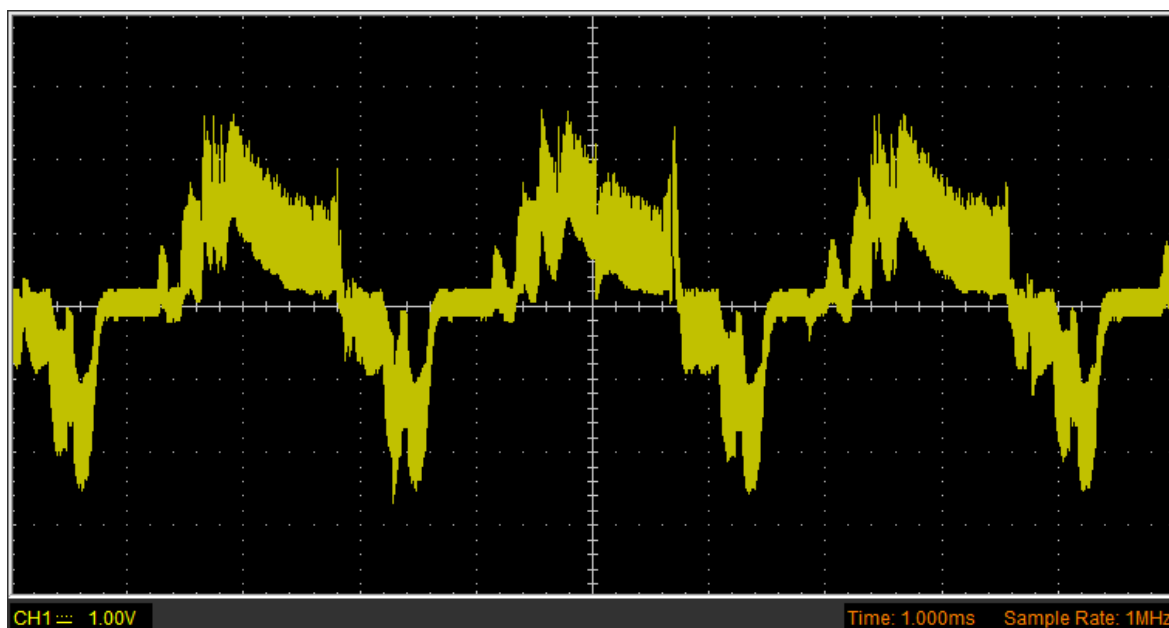


Figura 5.4. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 500 Hz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

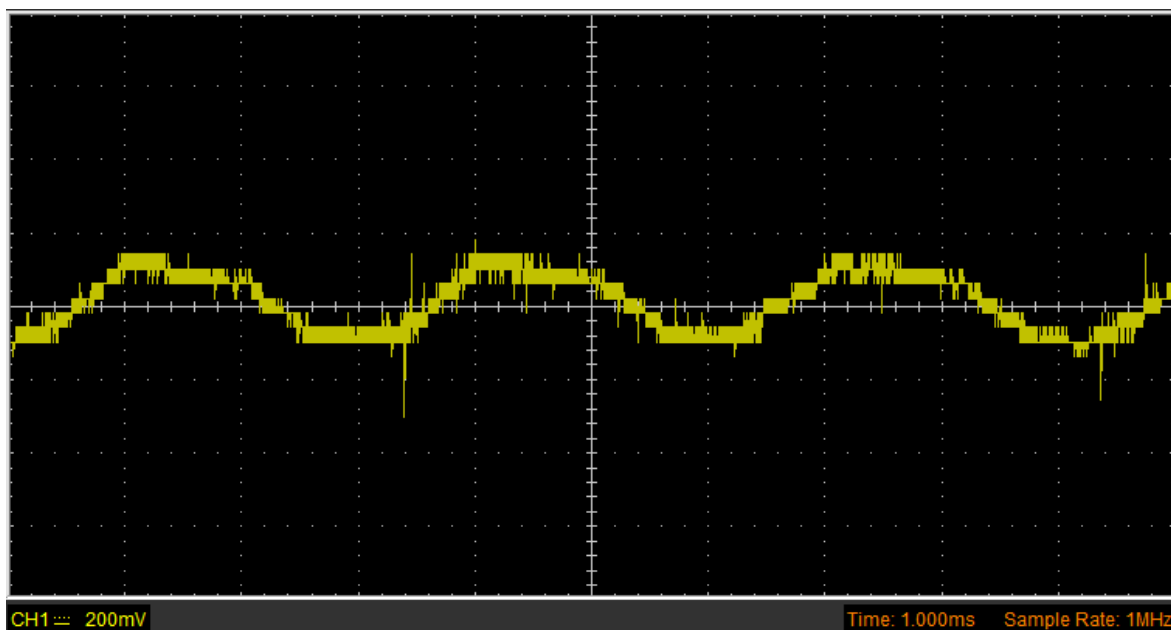


Figura 5.5. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 500 Hz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

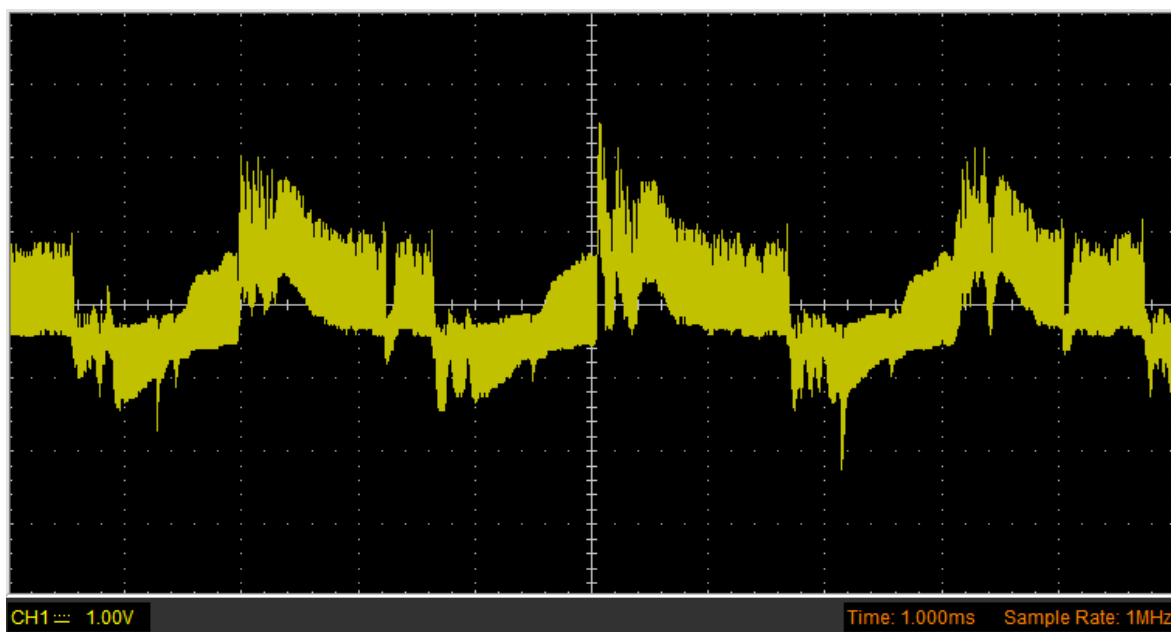


Figura 5.6. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 500 Hz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

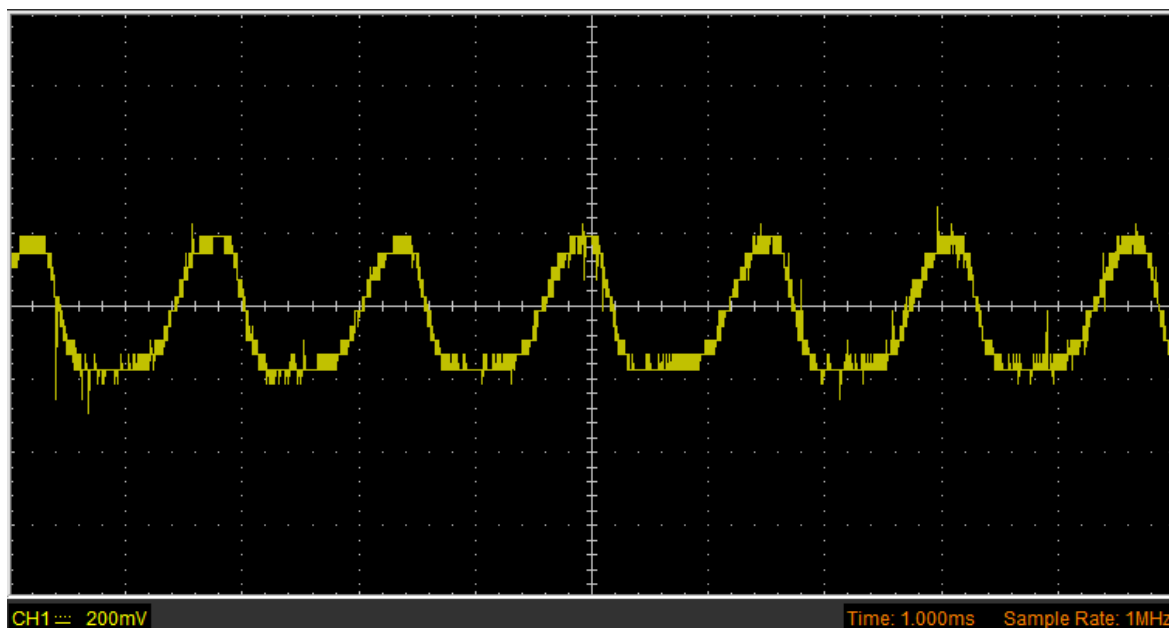


Figura 5.7. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal d'1 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

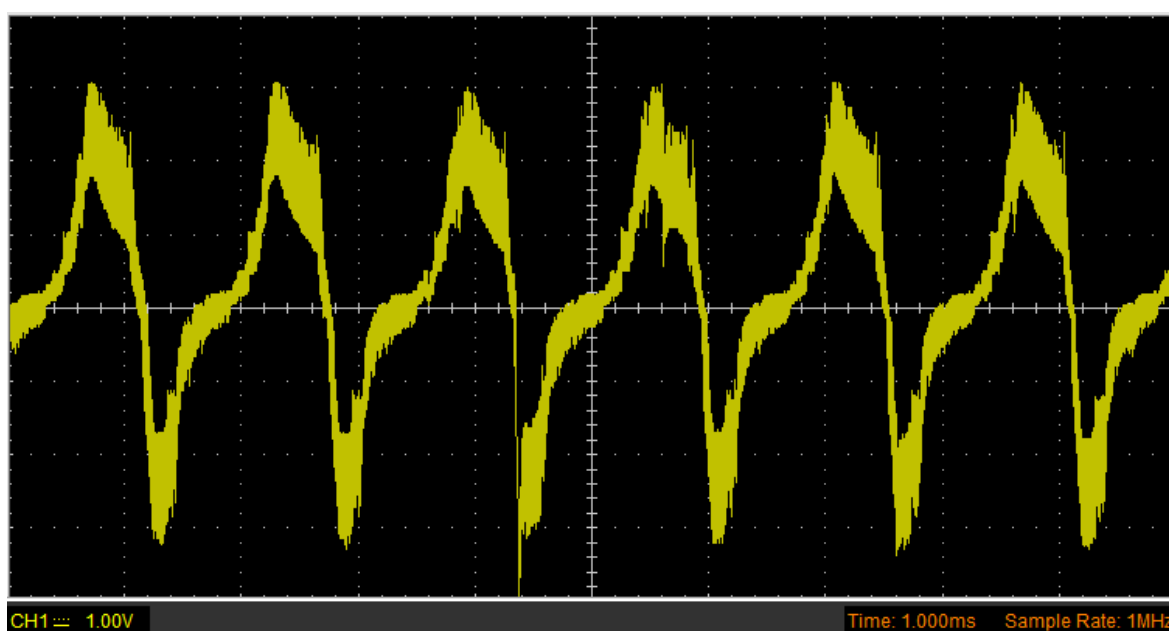


Figura 5.8. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal d'1 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

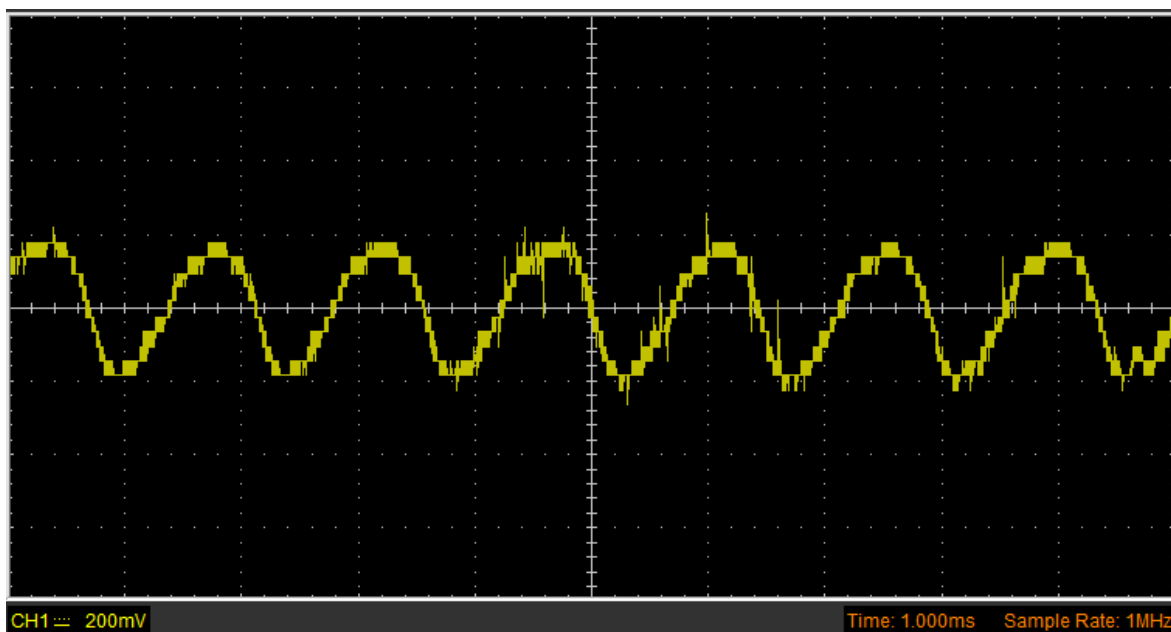


Figura 5.9. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal d'1 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div). (Font: Pròpia)

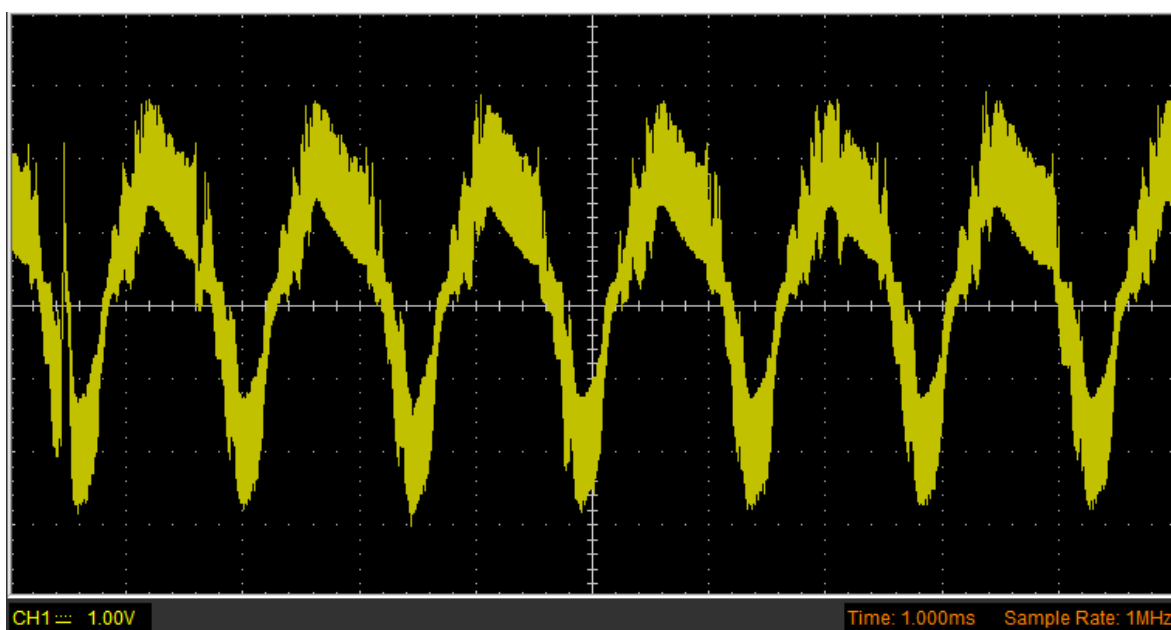


Figura 5.10. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal d'1 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div). (Font: Pròpia)

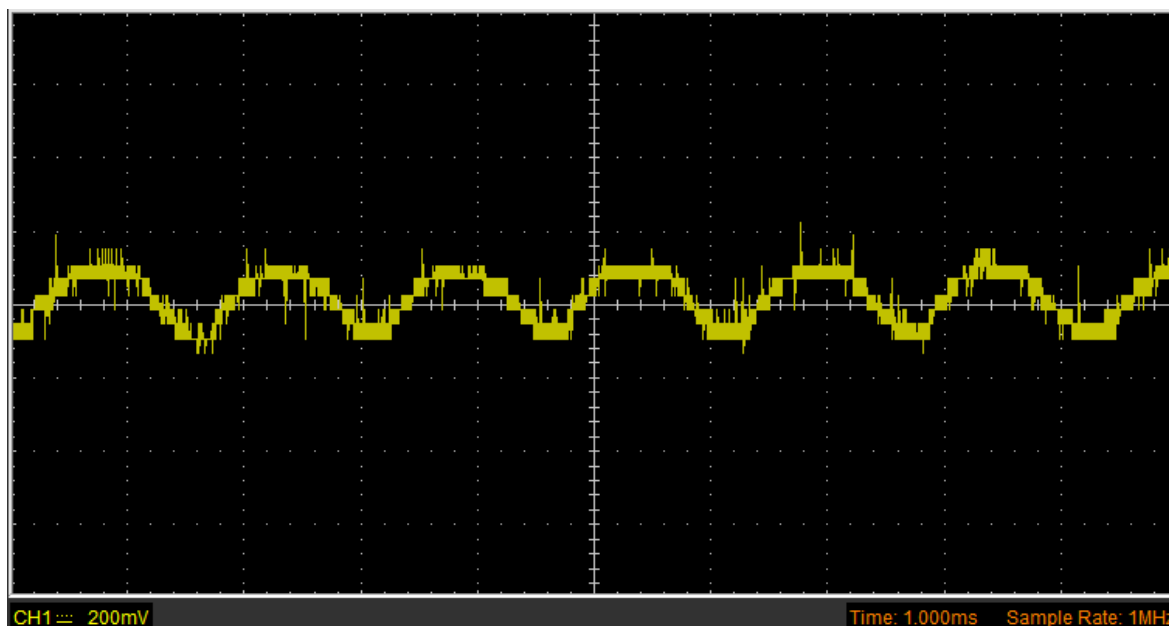


Figura 5.11. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal d'1 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

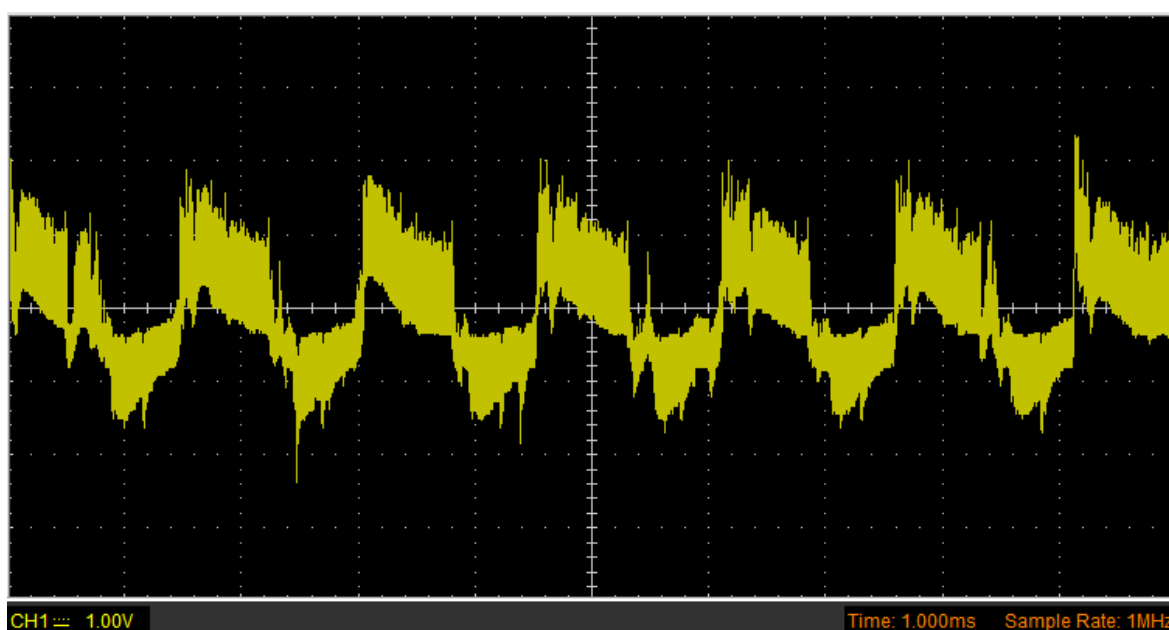


Figura 5.12. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal d'1 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

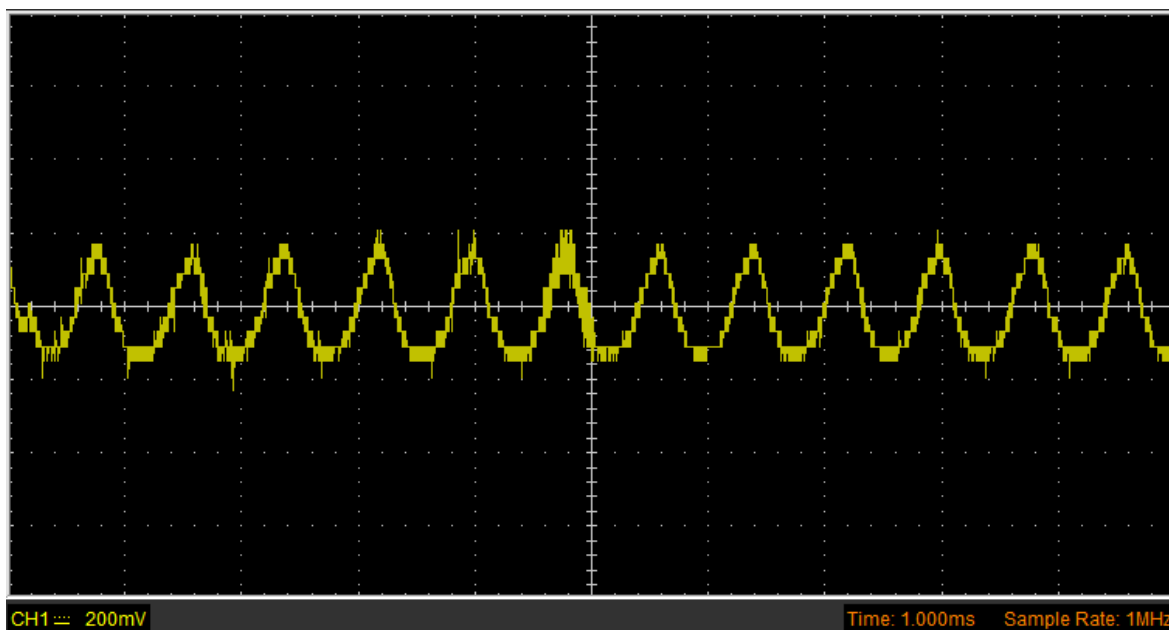


Figura 5.13. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

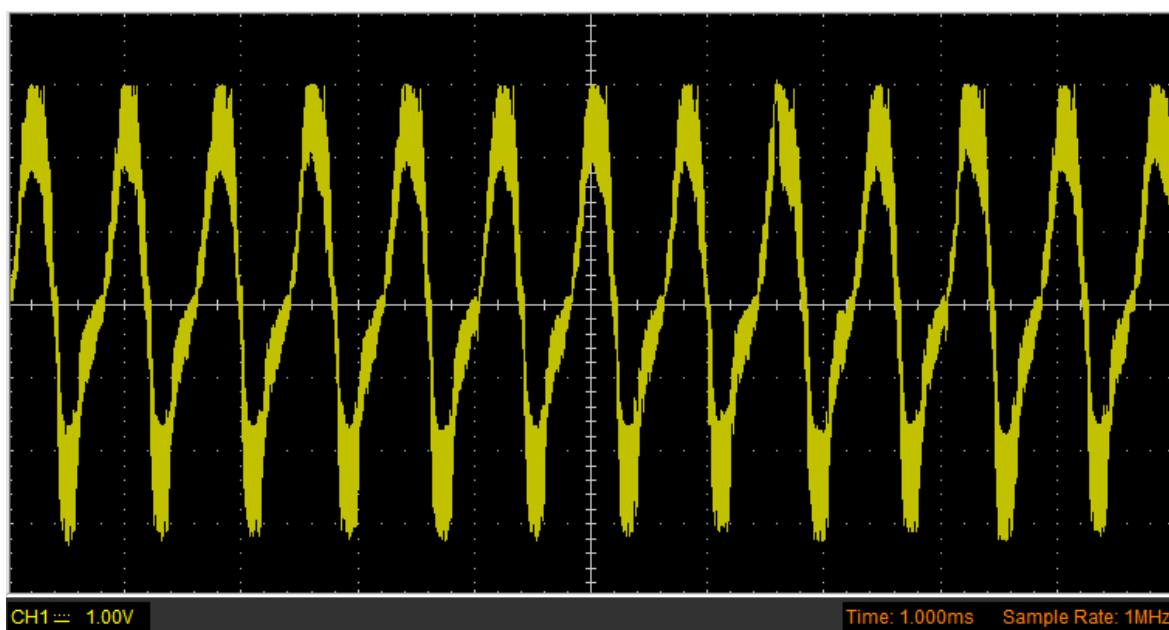


Figura 5.14. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

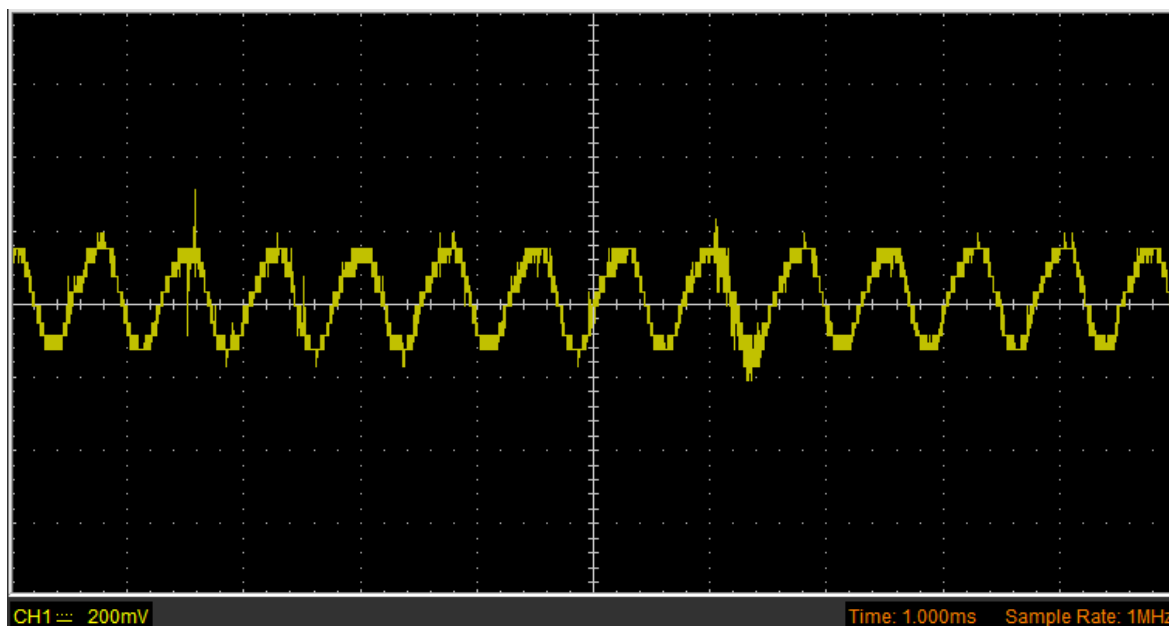


Figura 5.15. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 2 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

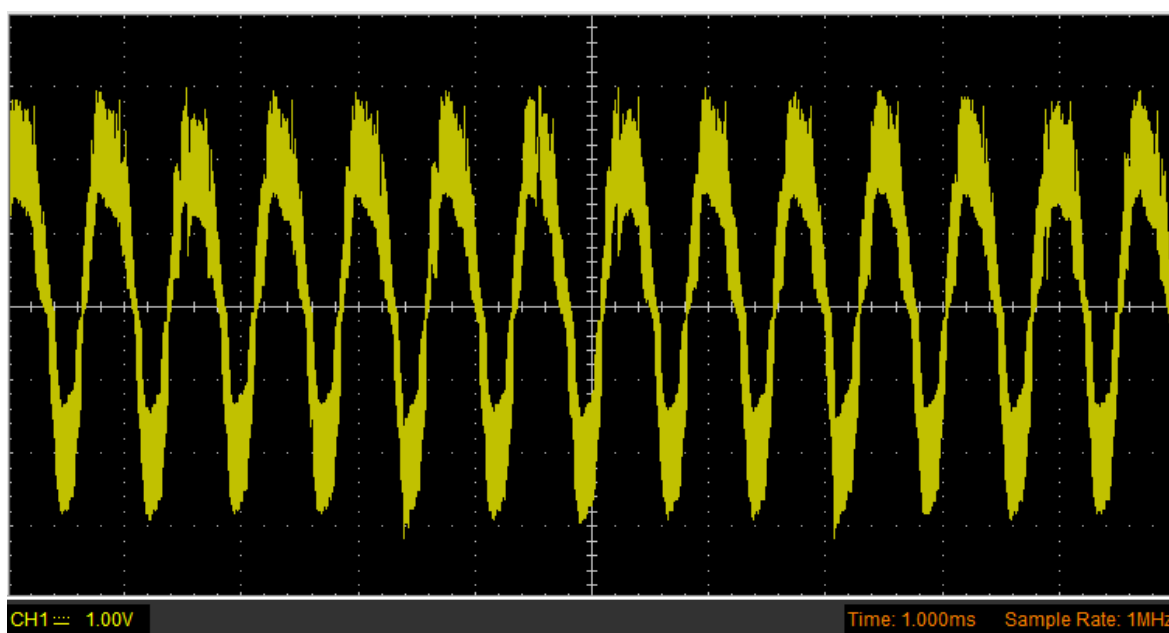


Figura 5.16. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 2 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

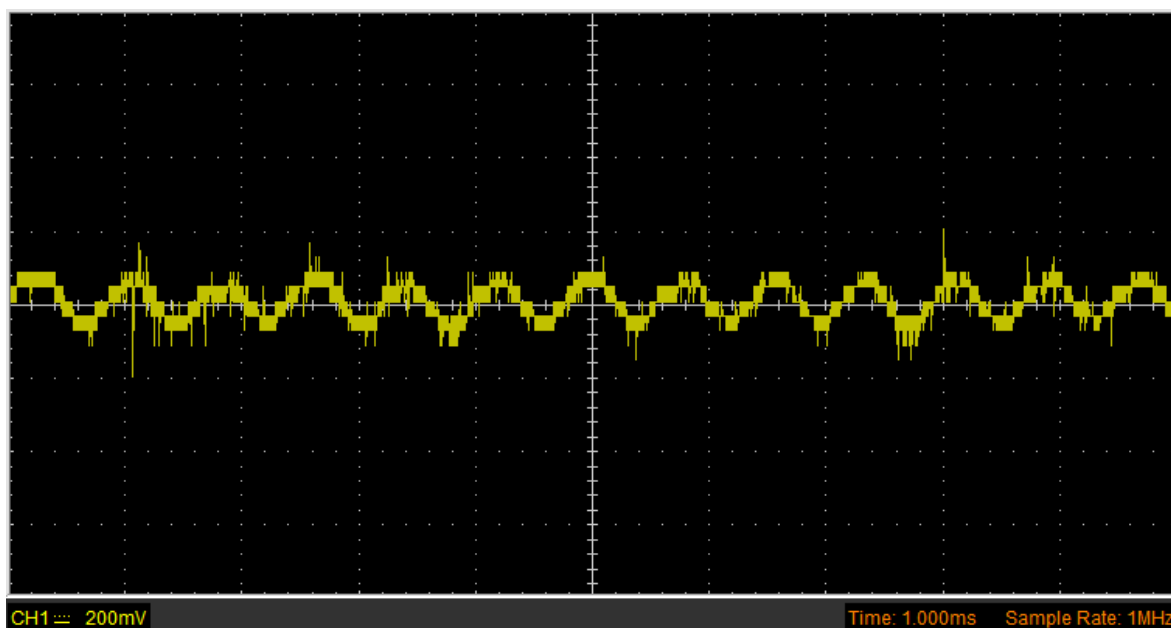


Figura 5.17. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

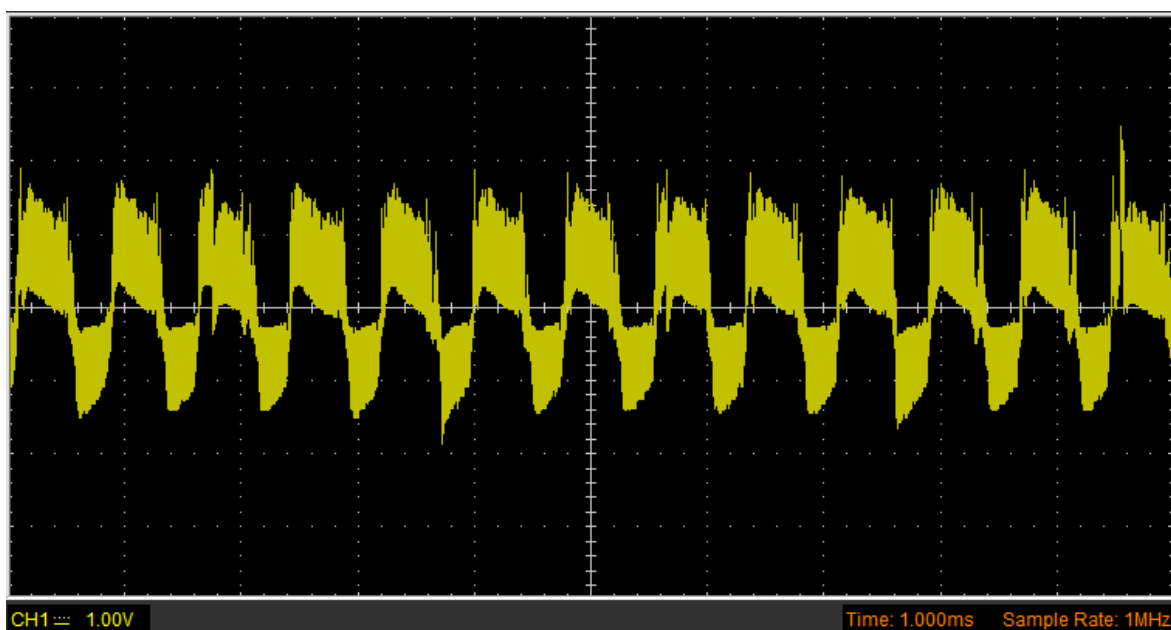


Figura 5.18. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 2 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

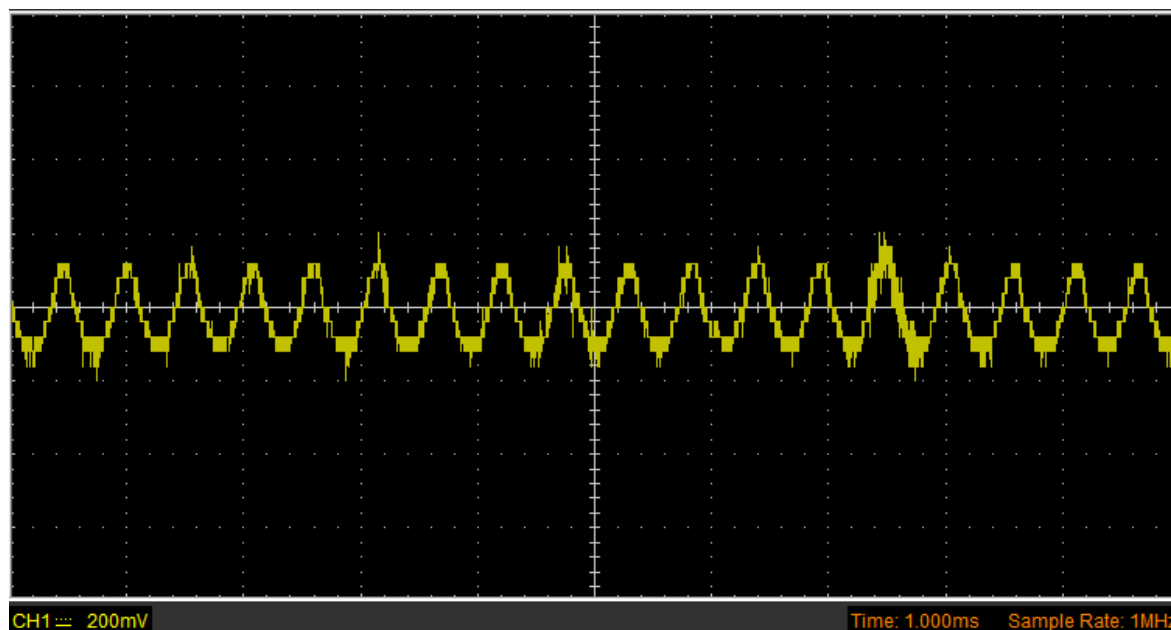


Figura 5.19. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div). (Font: Pròpia)

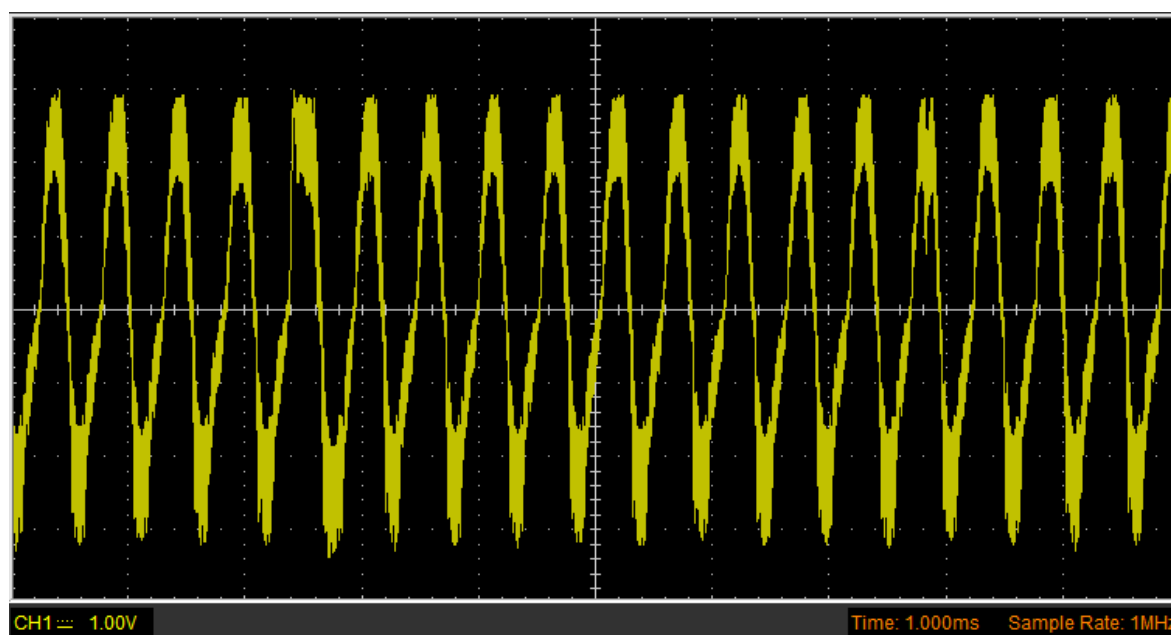


Figura 5.20. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div). (Font: Pròpia)

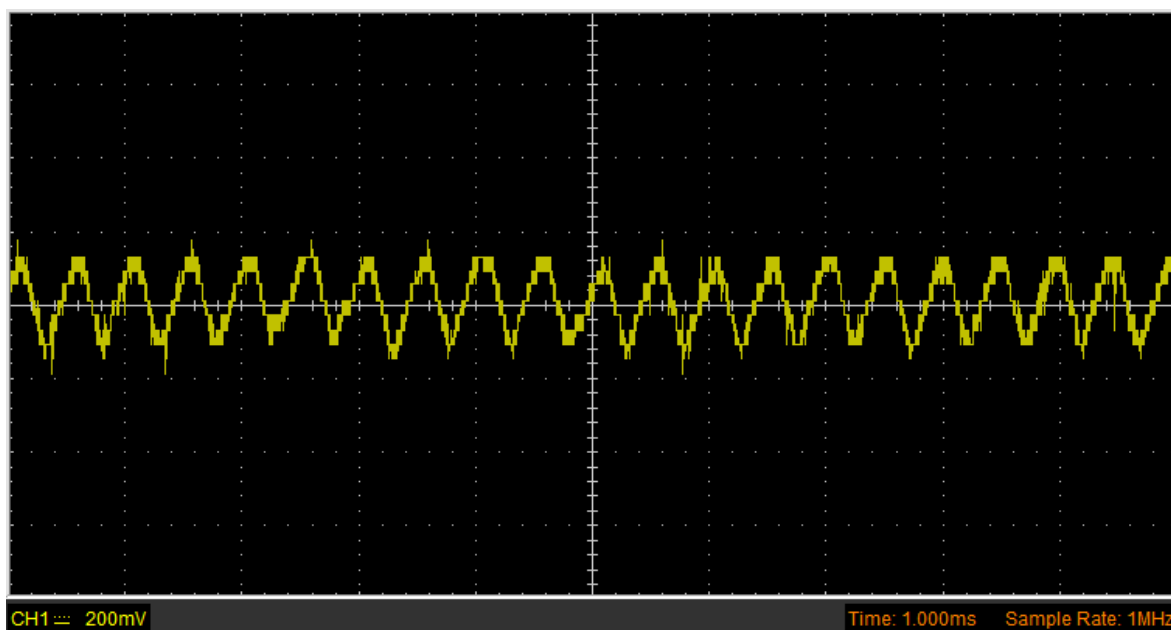


Figura 5.21. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

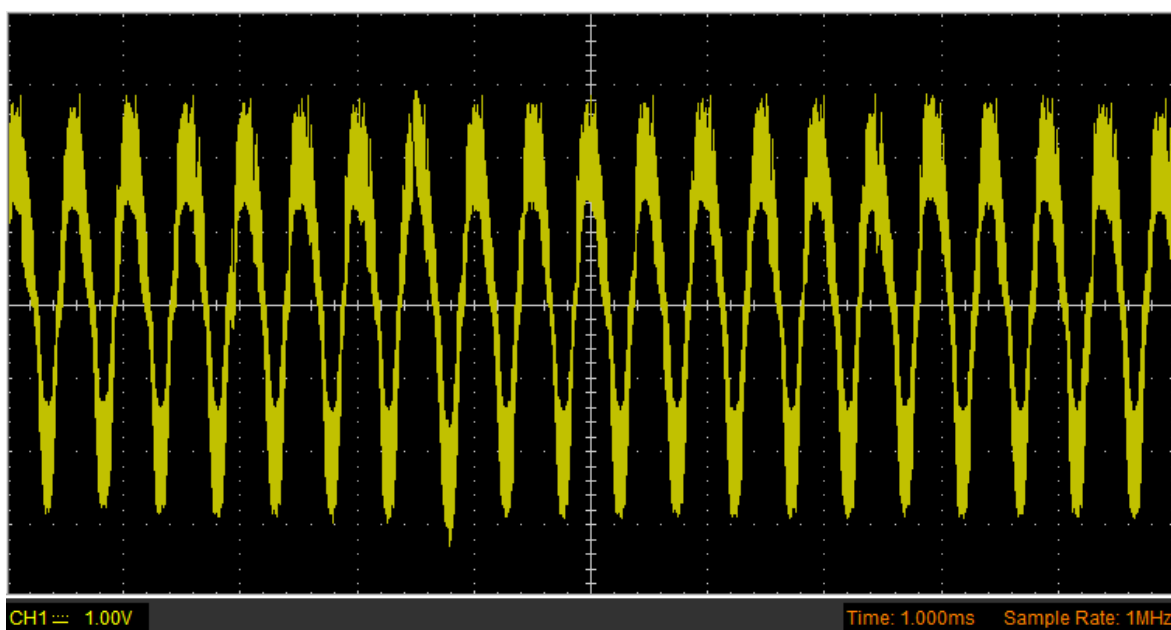


Figura 5.22. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

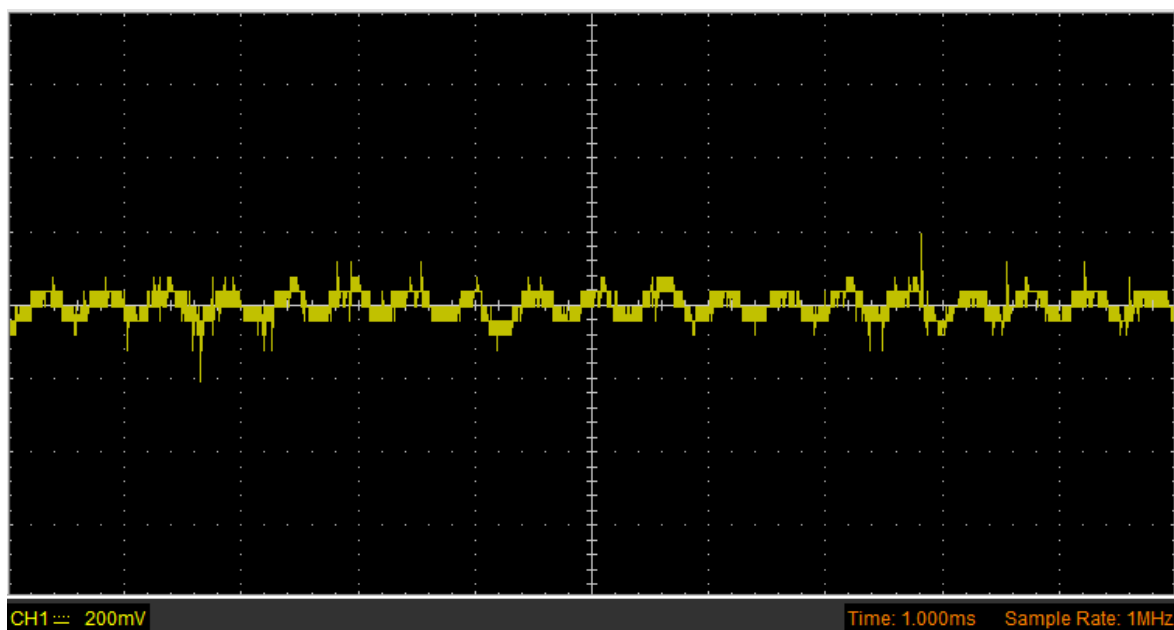


Figura 5.23. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

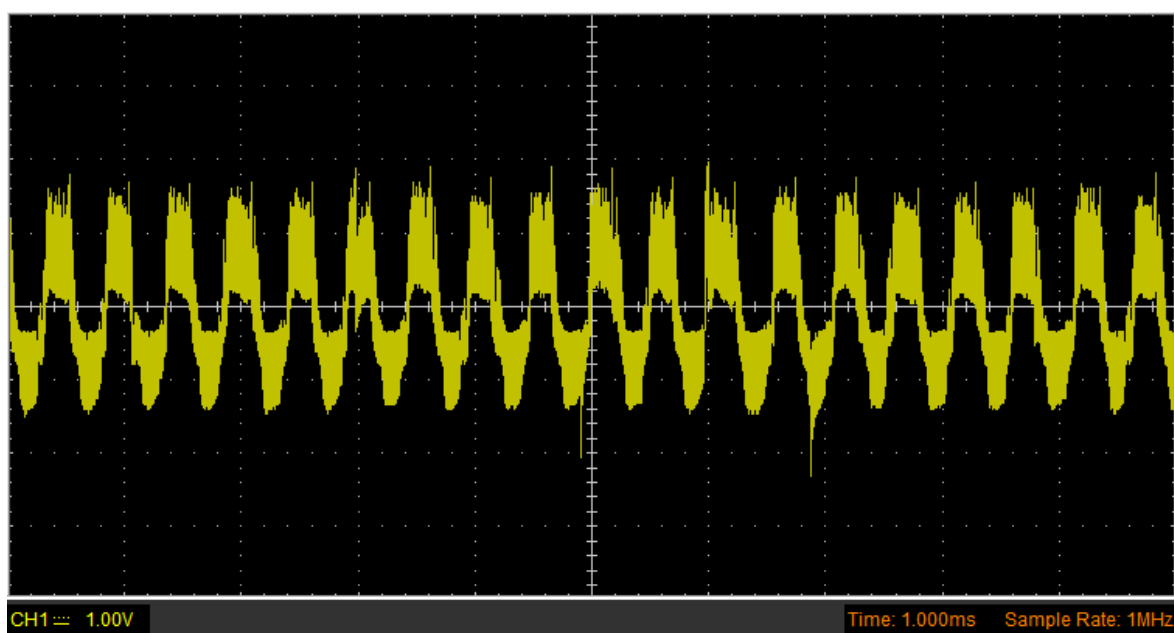


Figura 5.24. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 3 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

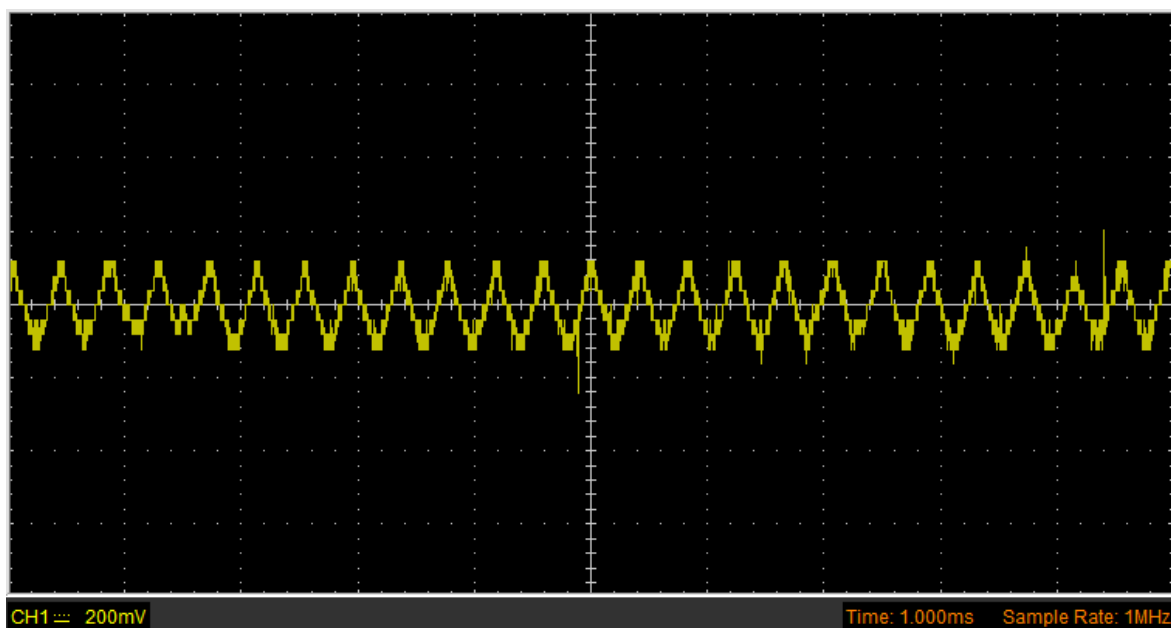


Figura 5.25. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 4 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

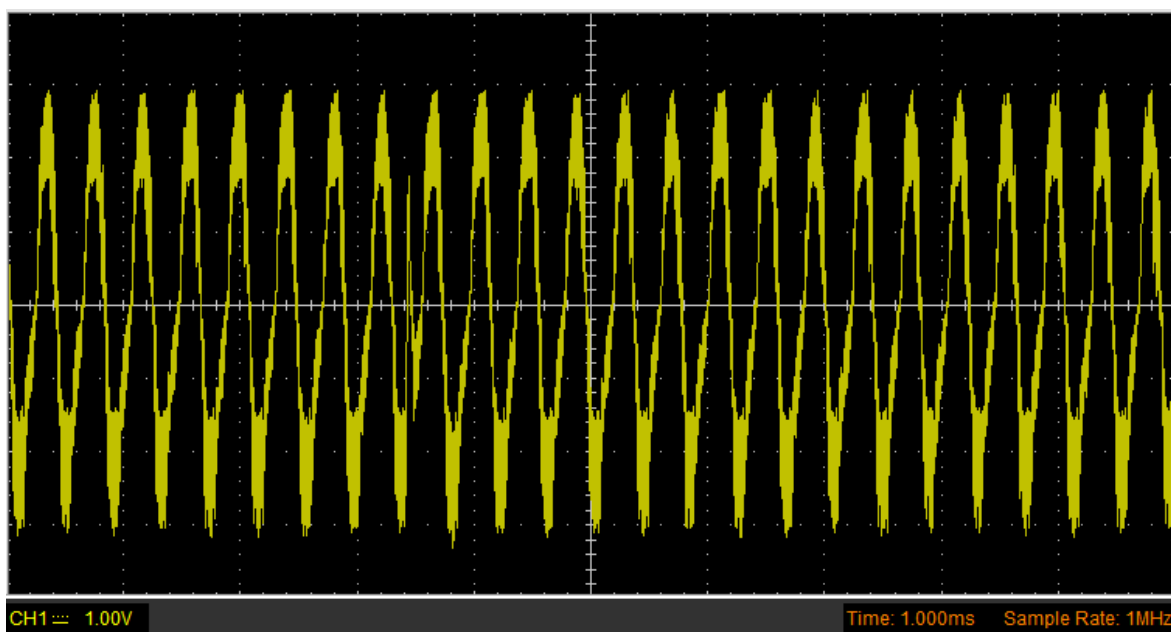


Figura 5.26. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 4 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

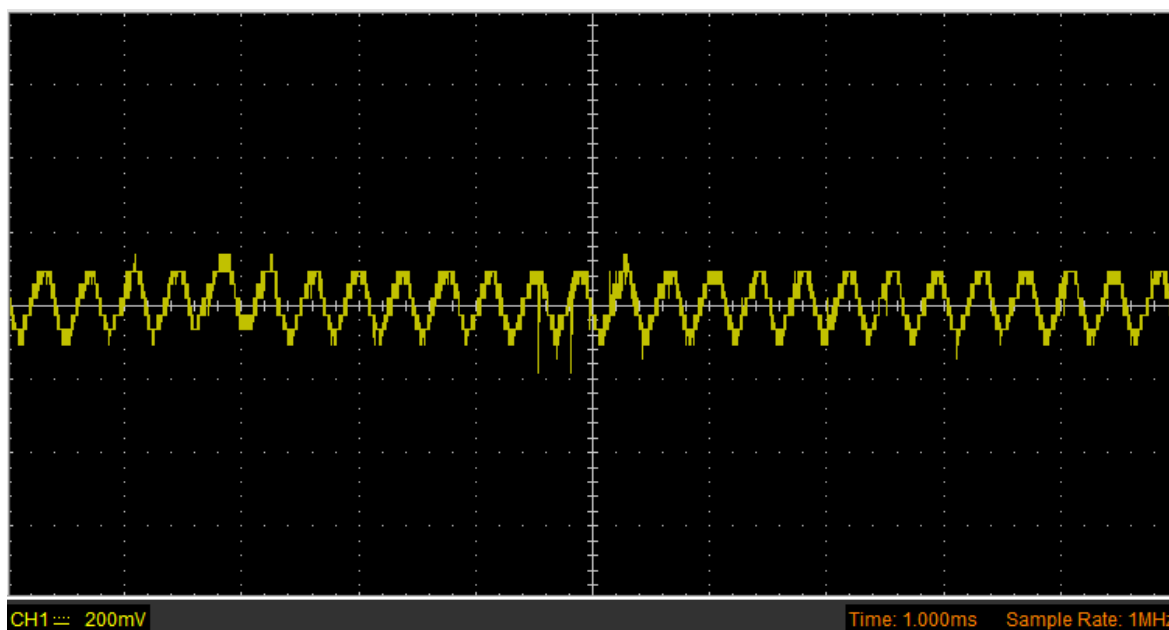


Figura 5.27. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 4 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

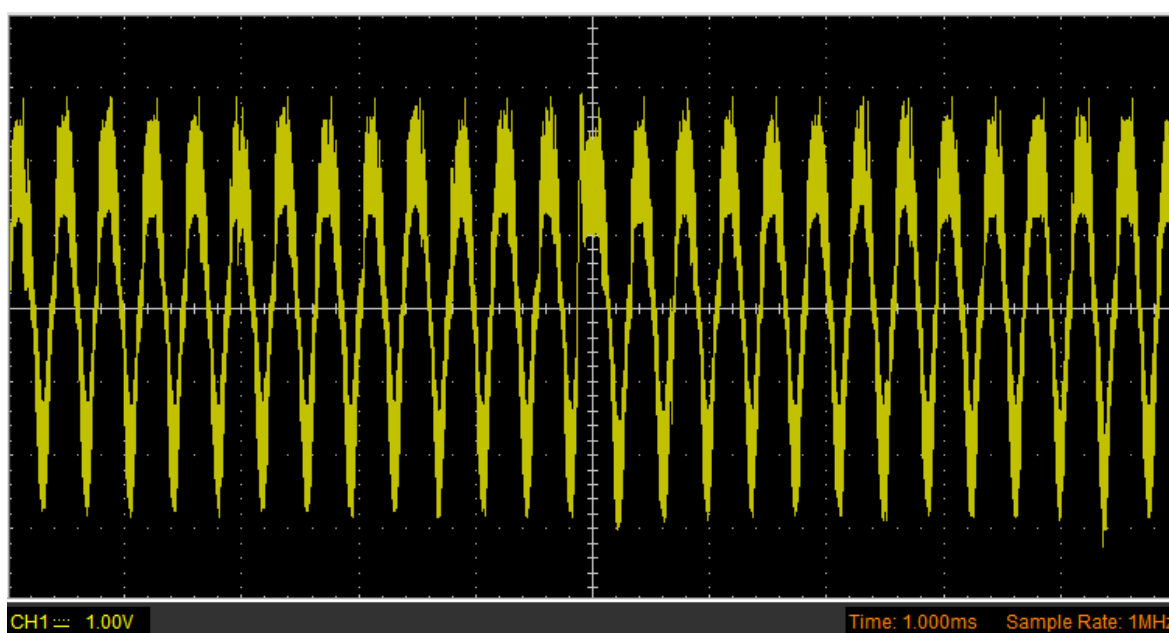


Figura 5.28. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 4 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

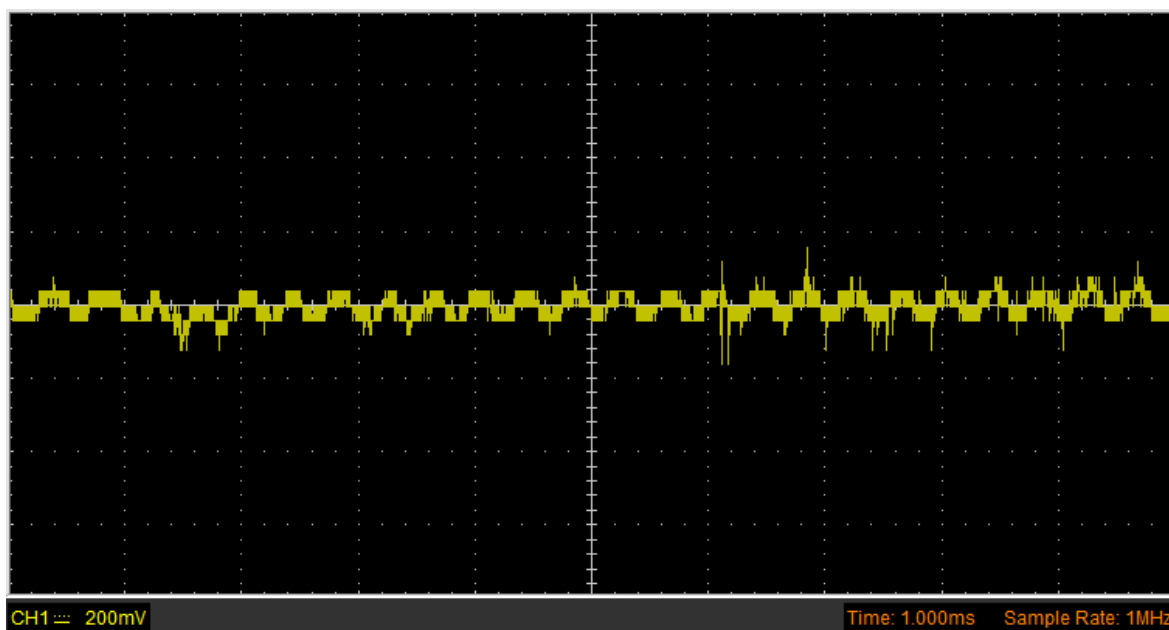


Figura 5.29. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 4 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

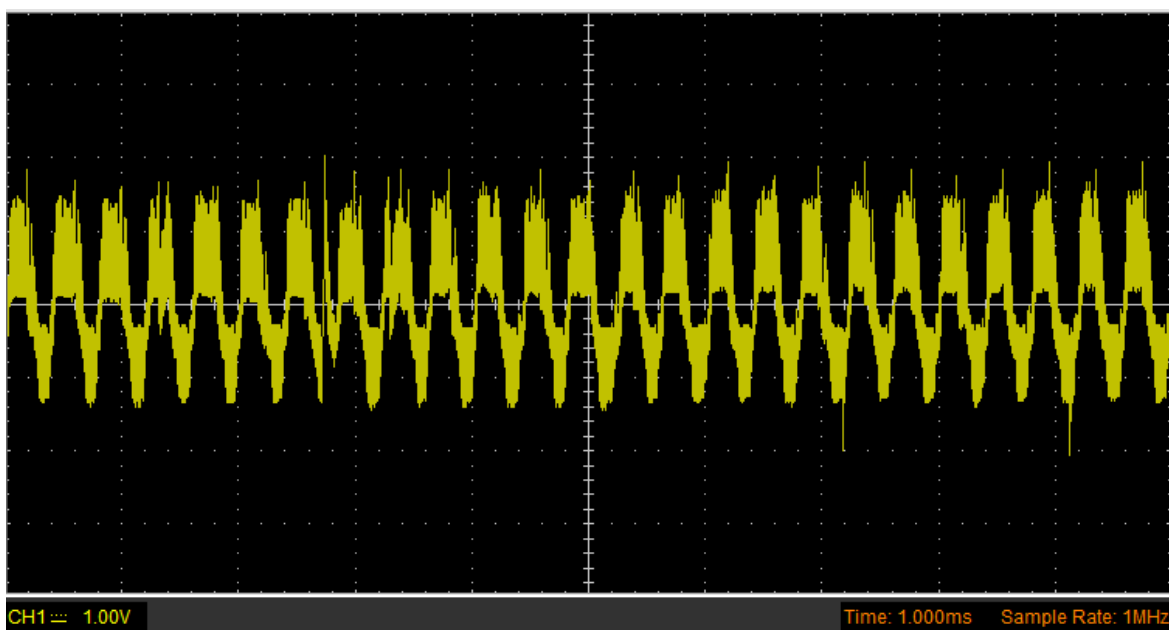


Figura 5.30. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoidal de 4 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

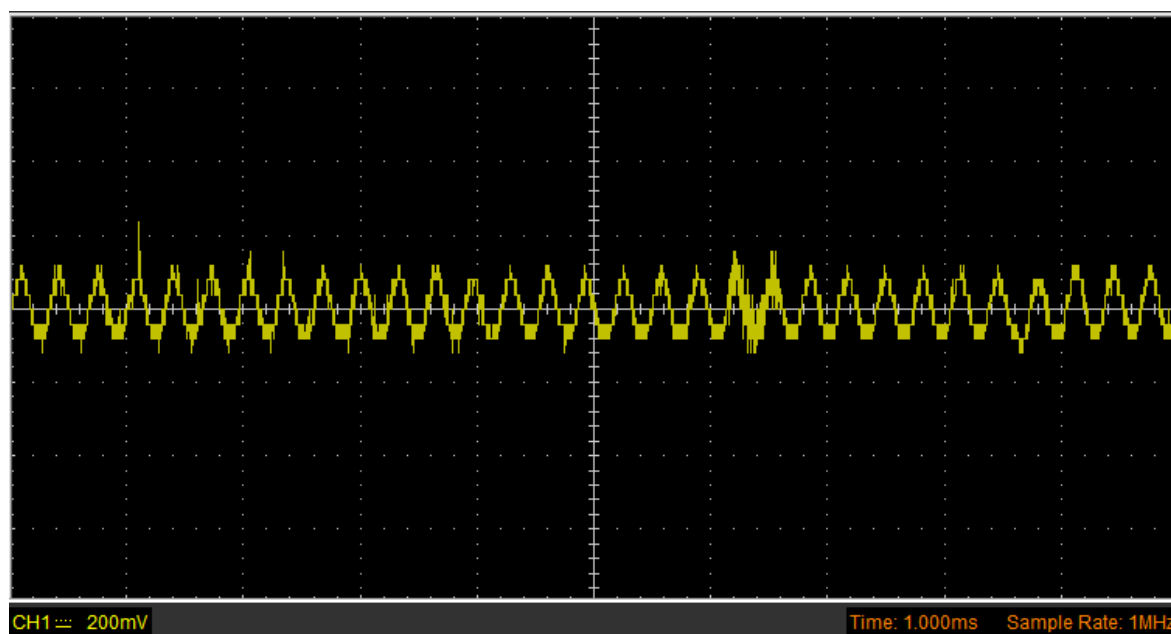


Figura 5.31. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

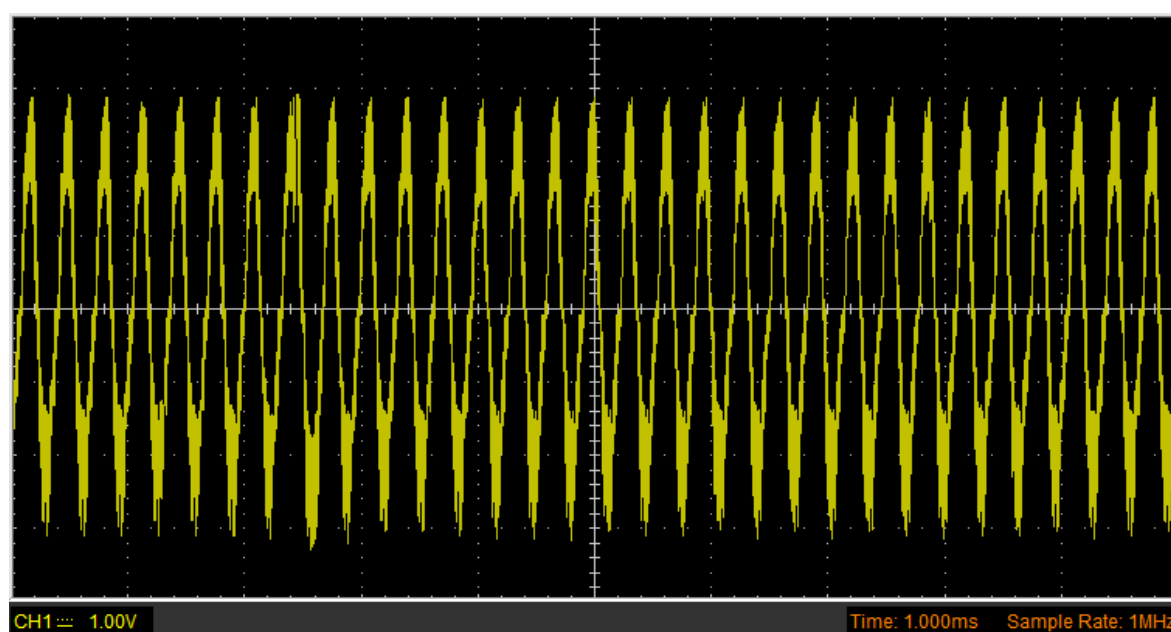


Figura 5.32. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 100% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

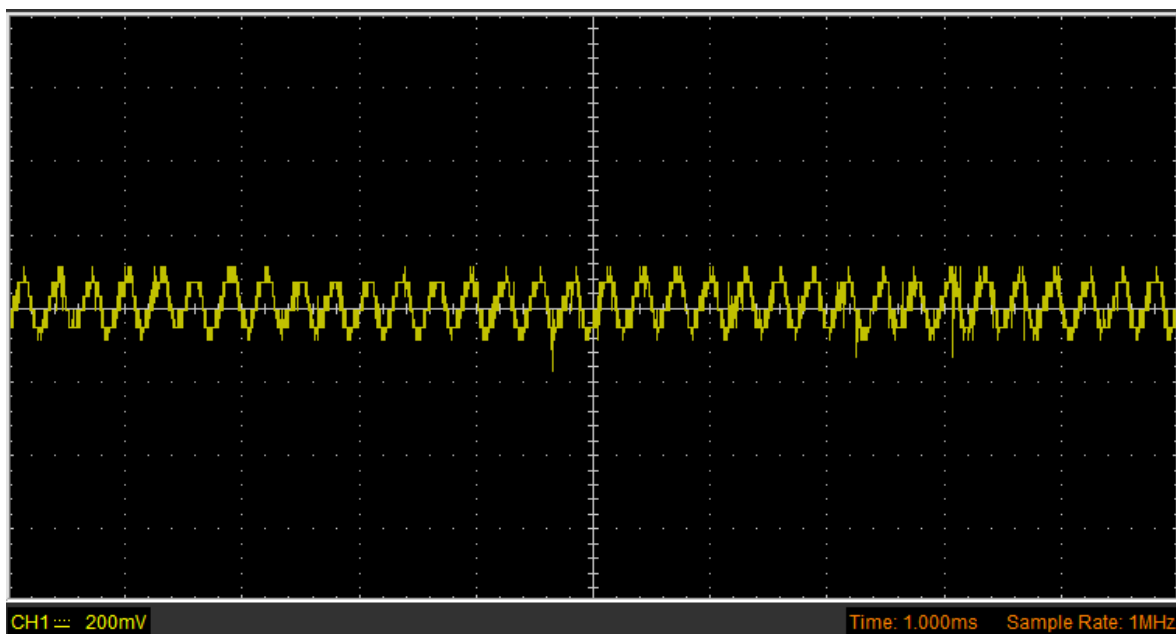


Figura 5.33. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

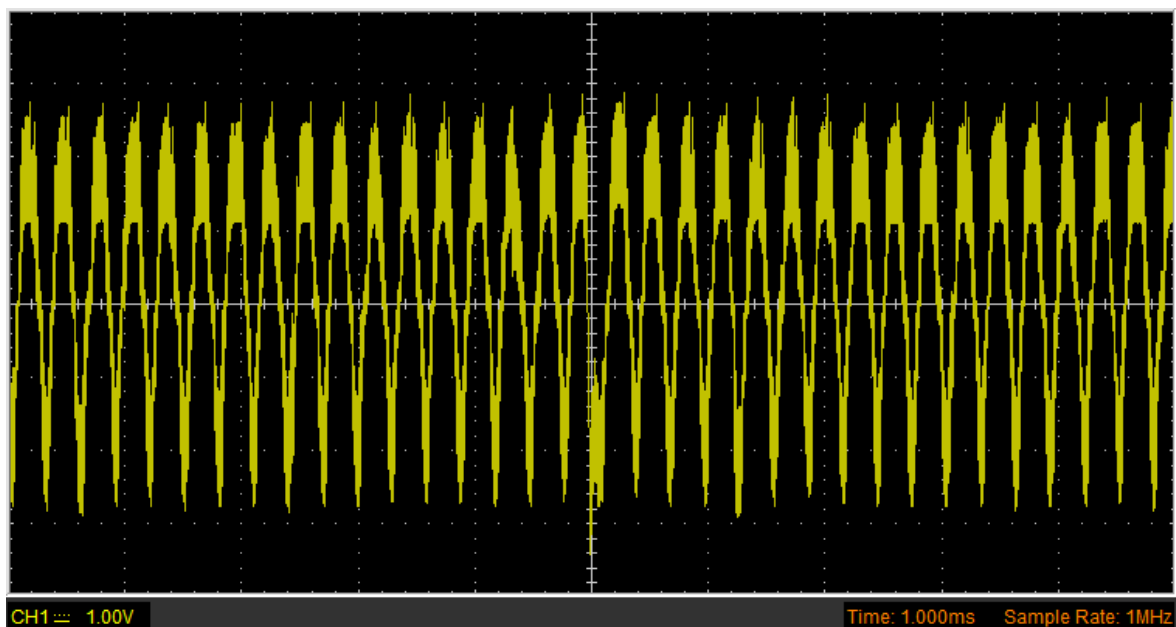


Figura 5.34. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 50% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

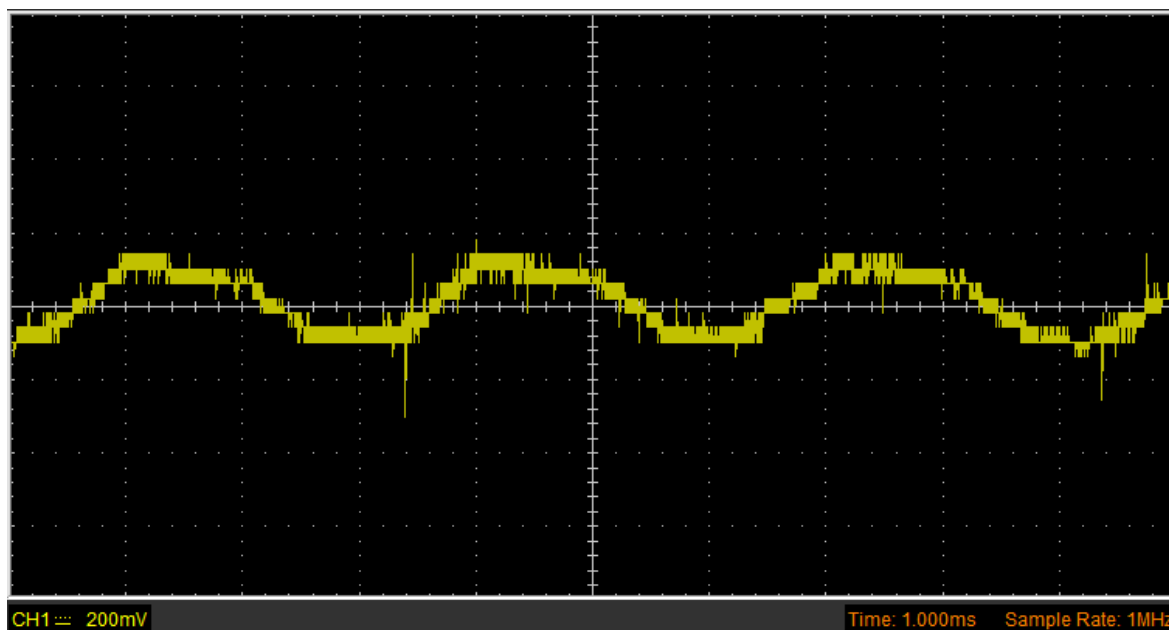


Figura 5.35. Imatge d'oscil·loscopi de la intensitat de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 200 mA/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

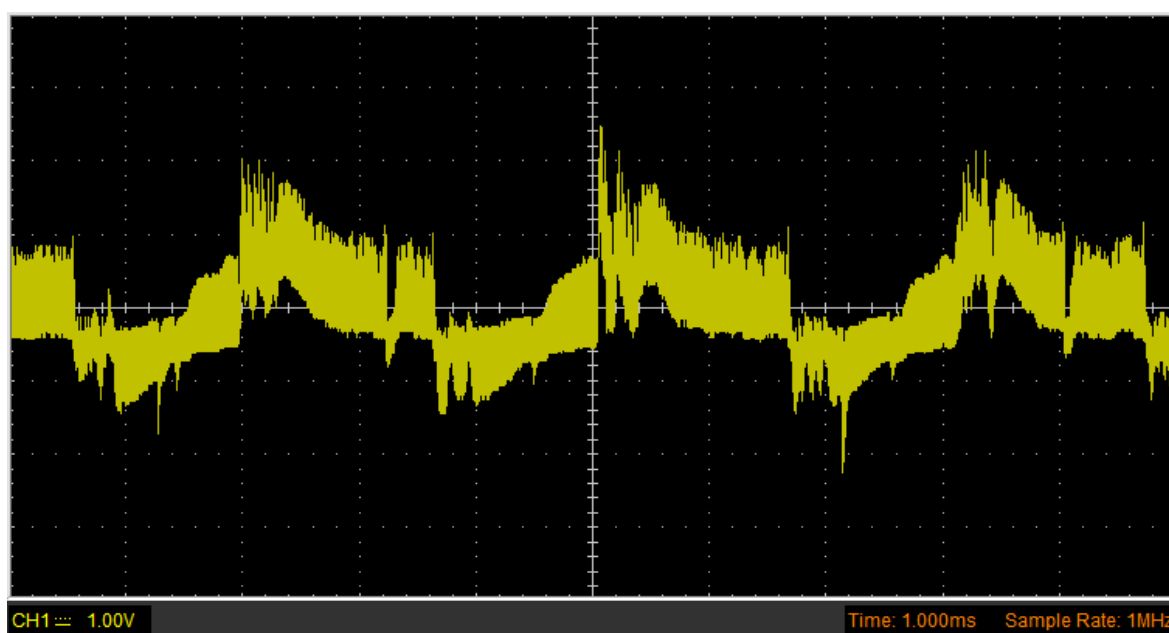


Figura 5.36. Imatge d'oscil·loscopi de la tensió de sortida que percep la càrrega al generar una sinusoïdal de 5 kHz i 30% d'amplitud (Escala vertical: 1 V/div. Escala horitzontal: 1 ms/div).(Font: Pròpia)

Cal dir que per obtenir les imatges de les intensitats de sortida que percep la càrrega, es va connectar a la sortida del generador una resistència de $0,1 \Omega$ 5 W i es va mesurar el voltatge que queia entre els seus bornes multiplicat per 10. Així s'ha obtingut la intensitat que circulava per la càrrega en cada cas, amb un error d'intrusisme molt petit, ja que com a molt suposava una caiguda de tensió de 0,02 V.

Observant les imatges d'oscil·loscopi de les tensions de sortida del generador, es veu que hi ha soroll degut a que no s'ha atenuat lo suficient la freqüència utilitzada per generar el senyal PWM (100 kHz). Tot i així, com que la càrrega presenta un comportament inductiu, integra el soroll generant una sinusoïdal en intensitat amb menys soroll en cada cas.

També s'observa que per les freqüències més petites, sobretot en la de 500 Hz, hi ha una certa distorsió en la tensió que percep la càrrega, però observant el senyal en intensitat, es veu que genera una sinusoïdal bastant bona, per lo que genera correctament el senyal per controlar adequadament la càrrega.

Observant tots els resultats experimentals obtinguts, es pot afirmar que realitza correctament totes les formes d'ona en cada cas, permetent obtenir freqüències molt precises i variar l'amplitud del senyal generat, a més que permet aportar a la càrrega la intensitat que sol·licita en cada cas.

6. Planificació de les tasques per l'elaboració del treball

Alhora de planificar les tasques d'elaboració del treball, es va realitzar el un diagrama de Gantt basat en la planificació de les tasques que es mostren en la Taula 6.1..

Taula 6.1. Planificació de les tasques per l'elaboració del treball.

	Tasca	Data d'inici	Duració (en dies)	Data final	Entrega
A	Disseny del diagrama de blocs del generador	29/01/2018	14	12/02/2018	12/02/2018
B	Obtenció dels paràmetres de la càrrega	29/01/2018	28	26/02/2018	-
C	Disseny electrònic del generador	26/02/2018	14	12/03/2018	12/03/2018
D	Obtenció dels components per realitzar el generador	05/03/2018	14	19/03/2018	-
E	Configuració de la Raspberry Pi	12/03/2018	7	19/03/2018	-
F	Realització del software visual de control del generador	19/03/2018	14	02/04/2018	02/04/2018
G	Muntatge i cablejat dels components del generador	19/03/2018	14	02/04/2018	-
H	Verificació del funcionament del generador	02/04/2018	21	23/04/2018	-
I	Elaboració de la memòria del treball	23/04/2018	34	25/05/2018	25/05/2018

Aquesta planificació s'ha anat adaptant durant la realització del treball per ajustar-la a situació real de l'elaboració del treball. A més, ha estat un element fonamental a l'hora de organitzar l'elaboració del treball.

El diagrama de Gantt que resulta d'aquesta planificació es pot veure en la Figura 6.1..

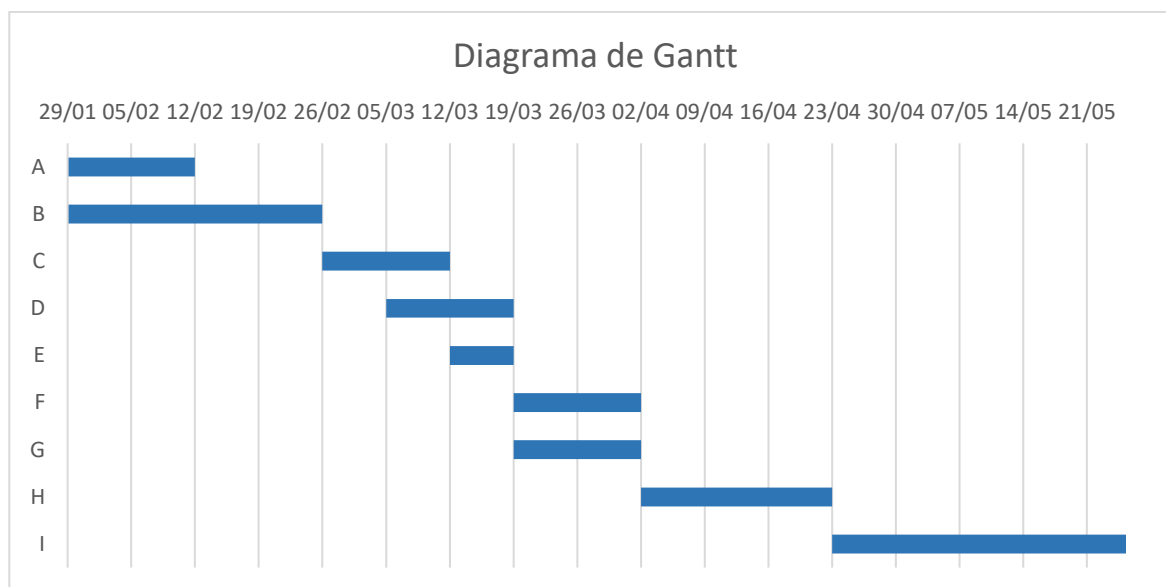


Figura 6.1. Diagrama de Gantt de la planificació de les tasques d'elaboració del treball.

7. Materials utilitzats

Els components utilitzats per elaborar el prototipus final del generador de funcions dissenyat es mostren en la Taula 7.1..

Taula 7.1. Materials utilitzats en el generador de funcions.

Quantitat	Component
1	Resistència d'1 k Ω 0,5 W
2	Resistència de 10 k Ω 0,25 W
1	Resistència de 11,8 k Ω 0,6 W
2	Resistència de 31,6 k Ω 0,6 W
1	Resistència de 30 k Ω 0,6 W
2	Condensador de 6,8 nF
2	Condensador de 100 nF
1	Condensador de 1 μ F
1	Condensador de 2,2 μ F
6	Díode 1N4007
1	Regulador de tensió L7805CV
1	Regulador de tensió L7905CV
2	Porta-fusible
2	Fusible d'1A
1	Amplificador operacional quàdruple LM324-N
2	Transistor NPN BD139
2	Transistor PNP BD140

2	Alimentador compacte de paret d'1A
1	Raspberry Pi 3B
1	Carregador Raspberry Pi 3B de 5,1 V i 2,5 A
1	Sòcol per encapsulat DIP-14
6	Connector aeri soldable de 2 entrades
2	Connector aeri soldable per font d'alimentació compacte
6	Dissipador de calor compatible amb TO-126 i TO-220
1	Placa de baquelita foradada de 75x90 mm
1	Placa de baquelita foradada de 90x155 mm
6	Mica compatible amb TO-126 i TO-220
1	Pasta tèrmica
6	Cargol M3x0,05
6	Rosca M3x0,5
1	Capsa de 268x200x76 mm
2	Metre de cable

8. Mètodes de càlcul justificatius

Per seleccionar els components a utilitzar en el disseny final, s'han realitzat una sèrie de càlculs i simulacions que justifiquen la seva elecció.

Començant pel bloc de potència, i en concret pel filtre passa-banda de segon ordre MFB implementat, el filtre segueix l'esquema que es pot observar en la Figura 8.1..

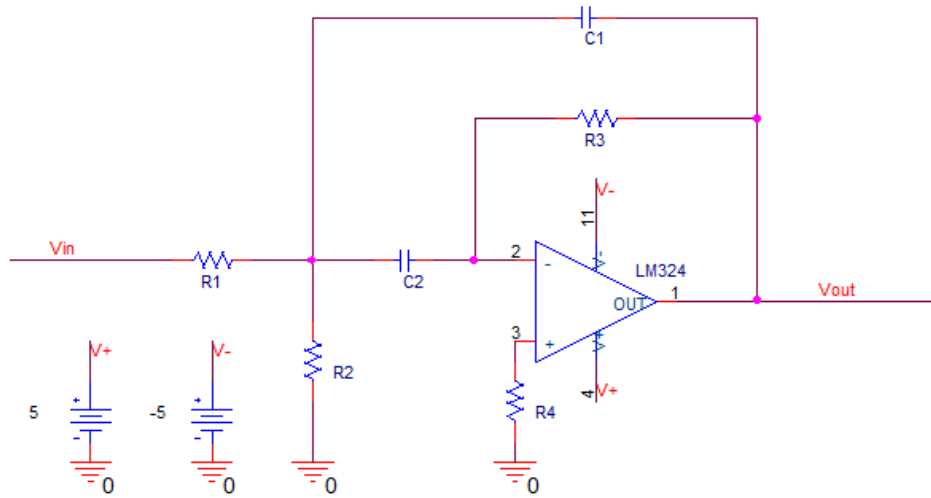


Figura 8.1. Esquema electrònic simbòlic del filtre passa-banda MFB.(Font: Pròpia)

Com el seu nom indica, aquest filtre està compost per dues realimentacions negatives. Aquest filtre permet fixar independentment entre ells el factor de qualitat (Q), la freqüència mitjana o central del filtre (f_0) i l'amplificació d'aquesta freqüència mitjana (A). La funció de transferència d'aquest filtre es mostra en l'Eq. 8.1..

$$F(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{s * \frac{1}{C_1 * R_1}}{s^2 + s * \left(\frac{1}{C_2 * R_3} + \frac{1}{C_1 * R_3} \right) + \frac{1}{C_1 * C_2 * R_3} * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

A partir d'aquesta funció de transferència, reemplaçant s per $j\omega$, s'obtenen la magnitud i la fase per cada freqüència. En les equacions Eq. 8.2. i Eq. 8.3. es mostren la magnitud i la fase respectivament.

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega) \right| = \frac{A}{\sqrt{Q^2 * \left(\frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega_0 * \omega} \right)^2 + 1}} = \frac{A}{\sqrt{Q^2 * \left(\frac{f^2 - f_0^2}{f_0 * f} \right)^2 + 1}} \quad (\text{Eq. 8.2})$$

$$\varphi = 180 - \tan^{-1} * \left(Q * \left(\frac{\omega^2 - \omega_o^2}{\omega_o * \omega} \right)^2 \right) = 180 - \tan^{-1} * \left(Q * \left(\frac{f^2 - f_o^2}{f_o * f} \right)^2 \right) \quad (\text{Eq. 8.3})$$

A partir d'aquestes equacions, es poden obtenir les equacions necessàries per fixar els tres paràmetres desitjats al valor que es necessita (Q, fo i A). Les equacions que permeten calcular el valors dels components del filtre es mostren entre l' Eq. 8.4. i l' Eq. 8.8..

$$R_1 = \frac{R_3}{2 * A} \quad (\text{Eq. 8.4})$$

$$R_2 = \frac{R_3}{2 * (2 * Q^2 - A)} \quad (\text{Eq. 8.5})$$

$$R_3 = R_4 \quad (\text{Eq. 8.6})$$

$$C_1 = C_2 = \frac{Q}{\pi * f_o * R_3} \quad (\text{Eq. 8.7})$$

$$Q \leq \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (\text{Eq. 8.8})$$

Cal dir que el disseny del filtre gira al voltant del valor que prengui R3, ja que es la resistència de realimentació. S'ha triat un valor de 10 kΩ per R3, ja que es pot fixar lliurement. Cal dir que la sortida serà inversa en polaritat amb respecte l'entrada, ja que hi ha un signe menys en la funció de transferència. També cal dir que és important complir la condició que es mostra en l' Eq.8.8. per a que el filtre funcioni correctament.

Per continuar amb el disseny del filtre MFB, primer es determina la freqüència mitjana o central del filtre, i es pot calcular amb l' Eq. 8.9. agafant com a freqüències de tall del filtre 500 Hz i 5 kHz.

$$f_o = \sqrt{f_2 * f_1} = \sqrt{5000 * 500} = 1581,14 \text{ Hz} \quad (\text{Eq. 8.9})$$

Ara s'ha de trobar el factor de qualitat que es necessita per a que les freqüències de tall siguin les especificades. El factor de qualitat es pot calcular mitjançant l' Eq. 8.10..

$$Q = \frac{f_o}{f_2 - f_1} = \frac{1581,14}{5000 - 500} = 0,351 \quad (\text{Eq. 8.10})$$

Després es pot comprovar que compleix amb la condició de l' Eq. 8.8.. Per fer-ho cal elegir una amplificació de la freqüència central que faci que es compleixi l'equació, per lo que es tria una amplificació de 1/6 (atenuar en 6 cops) o lo que es el mateix 0,167. En l' Eq. 8.11. es fa la comprovació.

$$Q \geq \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{0,167}{2}} = 0,289; \quad 0,351 \geq 0,289 \quad (\text{Eq. 8.11})$$

A continuació, es calcula el valor de R1 utilitzant l' Eq. 8.4., com es mostra en l' Eq. 8.12..

$$R_1 = \frac{R_3}{2 * A} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{2 * 0,167} = 30 \text{ k}\Omega \quad (\text{Eq. 8.12})$$

Després es calcula el valor de R2 utilitzant l' Eq. 8.5., com es pot veure en l' Eq. 8.13..

$$R_2 = \frac{R_3}{2 * (2 * Q^2 - A)} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{2 * (2 * 0,351^2 - 0,167)} = 63 \text{ k}\Omega \quad (\text{Eq. 8.13})$$

Finalment, es troben C1 i C2 mitjançant l' Eq. 8.7., com es mostra en l' Eq. 8.14..

$$C_1 = C_2 = \frac{Q}{\pi * f_o * R_3} = \frac{0,351}{\pi * 1581,14 * 10 \text{ k}\Omega} = 7,07 \text{ nF} \quad (\text{Eq. 8.14})$$

Alguns d'aquests valors calculats no es poden trobar al mercat, per lo que R1 continuaria sent de 30 kΩ, R2 estaria format per dues resistències de 31,6 kΩ formant 63,2 kΩ, R3 continuaria sent de 10 kΩ, R4 també seria de 10 kΩ, C1 seria de 6,8 nF i C2 també seria de 6,8 nF.

Utilitzant els valors reals dels components escollits, l'esquema resultant del filtre actiu implementat es mostra en la Figura 8.2..

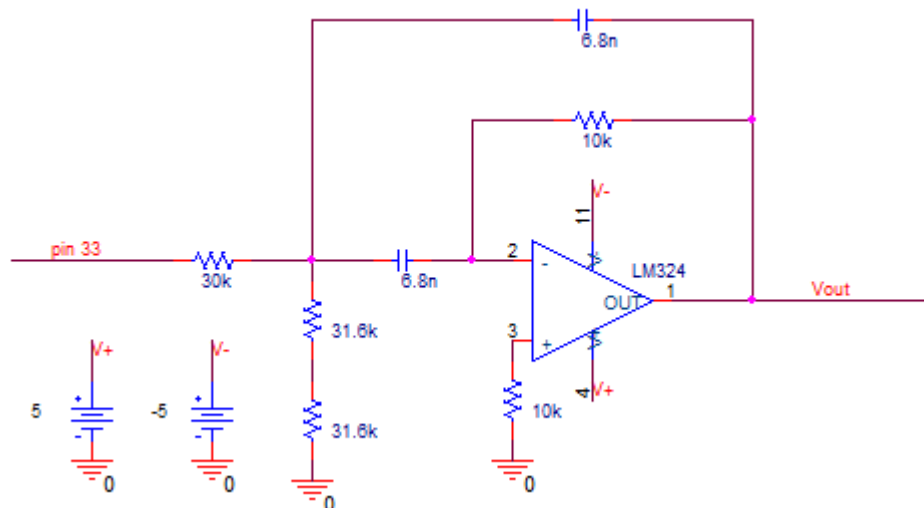


Figura 8.2. Esquema electrònic del filtre passa-banda MFB realitzat.(Font: Pròpia)

S'ha simulat amb Proteus el comportament d'aquest filtre actiu realitzat, donant una gràfica que mostra l'amplificació i la fase de sortida d'aquest filtre amb respecte a les diferents freqüències compreses entre 1 Hz i 1 MHz, com es pot observar en la Figura 8.3..

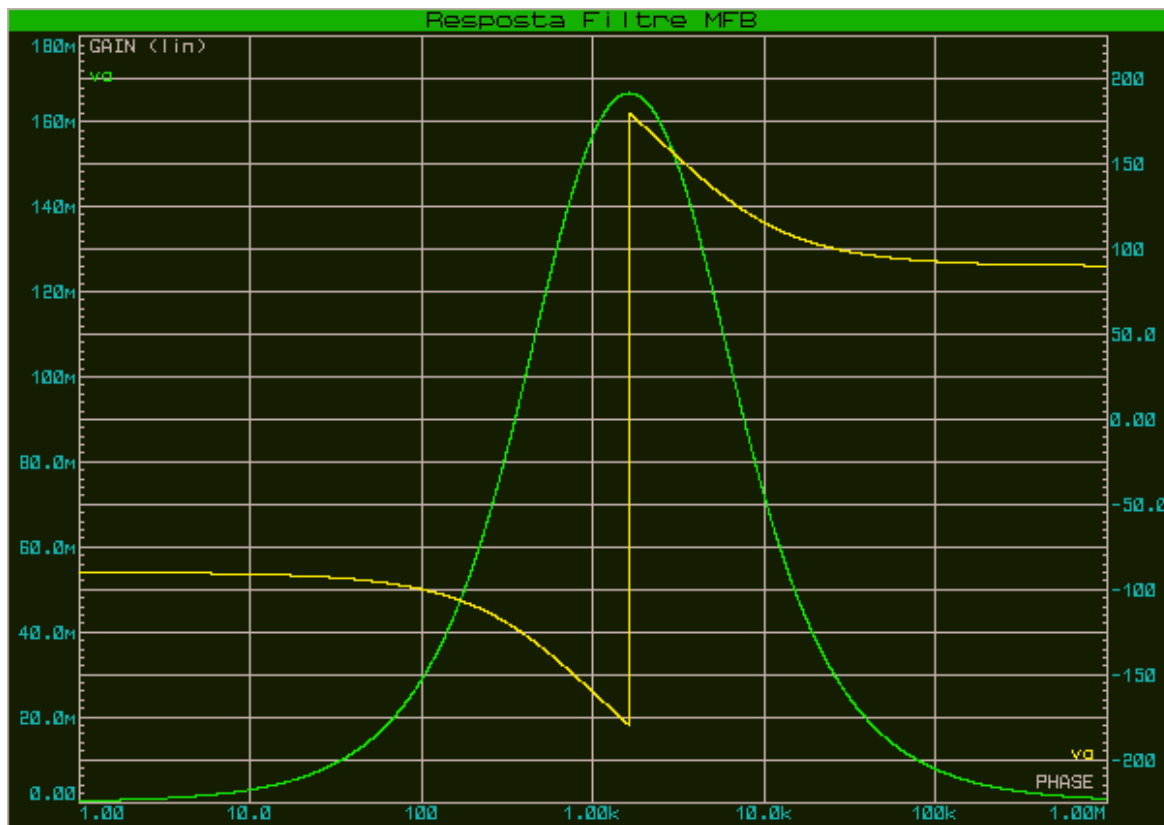


Figura 8.3. Guany (verd) i fase (groc) respecte a un rang de freqüències comprès entre 1 Hz i 1 MHz, del filtre MFB dissenyat, mitjançant una simulació en Proteus (Font: Pròpia)

Com es pot veure en la figura anterior, realitza correctament el filtratge pel que ha estat dissenyat. També es pot veure que en la freqüència central té una amplificació de 0,167 aproximadament, i que les freqüències de tall són aproximadament 500 Hz i 5 kHz, per lo que funciona adequadament.

Per les resistències del filtre circula molt poc corrent, en les simulacions no supera els 200 μ A, per lo que agafant resistències de com a mínim 1/4 W hi hauria més que suficient. Els condensadors del filtre no tenen que suportar molt de voltatge entre els seus bornes, per lo que s'agafen condensadors que aguanten sobradament aquesta tensió.

Els díodes que es posen en paral·lel als transistors en el bloc de potència són d'1 A, ja que poden aguantar sobradament els corrents que s'espera que circulin a través seu, que en les simulacions són del ordre dels μ A.

Les resistències de l'amplificador realimentat, que determinen el seu guany en tensió segons l' Eq. 8.15., han de permetre obtenir un guany de 13, ja que han de compensar l'atenuació de 6 vegades produïda en el filtre MFB i augmentar la tensió per a poder transmetre més potència a la càrrega, ja que l'amplitud es podrà variar amb el software del bloc de generació de formes d'ona.

$$Guany = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (\text{Eq. 8.15})$$

Per tant, s'escull com a resistència R1 una d'1 kΩ i com a R2 (resistència de realimentació) una de 12 kΩ, que serà finalment d'11,8 kΩ. S'escullen valors de l'ordre dels kΩ per disminuir el corrent que hi circula per elles. En les simulacions, surt que el corrent que hi circula per elles no supera els 2 mA, per lo que es poden utilitzar resistències de com a mínim 1/4 W per a hi hagi més que suficient capacitat de dissipació de calor.

Continuant pels transistors del bloc de potència, aquests han de poder subministrar a la càrrega fins a 1 A, per lo que s'escullen els BD139 i BD140, ja que permeten lliurar un corrent de fins a 1,5 A. A més, s'utilitzen uns altres BD139 i BD140 addicionals per a reduir la intensitat que l'amplificador operacional ha de subministrar, ja que aquest no pot donar més de 40 mA. També se'ls col·loquen dissipadors de calor, encara que segons les simulacions els transistors poden aguantar sobradament la potència dissipada, per poder funcionar durant molt temps sense escalfar-se massa.

En el bloc d'alimentacions, els condensadors utilitzats serveixen per reduir l'arissada de l'alimentació d'entrada i per millorar l'estabilitat. Els valors i característiques d'aquests provenen de les fulles de característiques dels reguladors de tensió utilitzats.

S'han elegit el L7805CV i el L7905CV, ja que subministren els 5 V i -5 V necessaris per alimentar el circuit, i amb una intensitat màxima d'1,5 A. A més, tenen una sèrie de proteccions contra curtcircuits i sobreescalfament. Se'ls col·loquen dissipadors de calor per assegurar de que poden funcionar durant molt temps sense escalfar-se en excés.

També s'han col·locat díodes 1N4007 entre 5 V i massa i entre massa i -5 V per protegir el bloc d'alimentacions contra inversió de polaritat instantània en la tensió d'alguna de les sortides. En el cas de que momentàniament s'invertissin les polaritats en alguna de les sortides, les tensions quedarien fixades a uns -0,7 V (la de 5 V) i/o a 0,7 V (la de -5 V), ja que 0,7 V és la tensió llindar del díode de silici.

Finalment, també es col·loquen díodes 1N4007 entre les entrades i les sortides dels reguladors de tensió per tal de protegir el bloc d'alimentacions contra intensitats negatives (de signes contraris a les acceptades pels reguladors de tensió).

Conclusions

En vista dels resultats obtinguts en el treball, es pot concloure que s'han aconseguit complir amb tots els objectius proposats a l'inici del treball.

S'ha aconseguit realitzar una interfície de control del generador de funcions en un entorn visual que permet seleccionar la freqüència i el percentatge d'amplitud del senyal generat visualment. A més s'ha aconseguit una freqüència del senyal generat bastant precisa, encara que s'aprecia una mica de soroll en el senyal generat, però serveix perfectament per controlar la càrrega objectiu del treball.

Com a línies de treball futur per millorar el treball realitzat, es podria intentar augmentar l'eficiència del generador mitjançant la utilització d'un altre tipus d'amplificador en el bloc de potència, com per exemple de classe D, i/o canviant el bloc d'alimentacions per un més eficient, com per exemple una font commutada. També es podria intentar disminuir el soroll present en el senyal en tensió del generador millorant el filtratge del senyal PWM generat. Finalment, es podria intentar aportar més potència a la càrrega augmentant els nivells de tensió que se li apliquen, i adaptant el circuit per a que fos capaç d'aportar la intensitat que aleshores requeria.

Tot i aquestes possibles millores sobre el treball, el generador de funcions elaborat compleix àmpliament amb els objectius proposats, per lo que es pot estar satisfet amb el generador de funcions realitzat.

Pressupost

El pressupost del prototipus està dividit en 3 parts:

- **Disseny:** Disseny i simulació del generador de funcions.
- **Muntatge:** Muntatge del prototipus dissenyat.
- **Verificació:** Verificació del comportament del prototipus.

Pressupost del disseny

Element	Quantitat	Cost unitari	Cost
Temps treballat	658 h	12 €/h	7.896 €
Placa baquelita 90x155 mm	1	5,25 €	5,25 €
Transistor BJT 2N3055	1	1,28 €	1,28 €
Transistor BJT MJ2955	1	3,58 €	3,58 €
Díode 1N4007	2	0,01 €	0,02 €
Connector aeri 2 entrades	2	0,33 €	0,66 €
Cable	1 m	0,3 €/m	0,30 €
Mesurador d'inductàncies HM-8018	2 mesos	15 €/mes	30,00 €
Multímetre digital HM-8011-3	2 mesos	10 €/mes	20,00 €
Generador de funcions DG-1022	2 mesos	7,5 €/mes	15,00 €
Oscil·loscopi analògic Hameg	2 mesos	20 €/mes	40,00 €
Font d'alimentació Breimi	2 mesos	2,5 €/mes	5,00 €
Cable banana-banana	2	1,40 €	2,80 €
Pinces cocodril	4	0,92 €	5,52 €
TOTAL	8.025,41 €		

Pressupost del muntatge

Element	Quantitat	Cost unitari	Cost
Temps treballat	66 h	8 €/h	828 €
Resistència 1 kΩ 0,5 W	3	0,02 €	0,06 €
Resistència 10 kΩ 0,25 W	2	0,02 €	0,04 €
Resistència 11,8 kΩ 0,6 W	1	0,03 €	0,03 €
Resistència 31,6 kΩ 0,6 W	2	0,03 €	0,06 €
Resistència 30 kΩ 0,6 W	1	0,03 €	0,03 €
Condensador 10 nF	1	0,08 €	0,08 €
Condensador 100 nF	3	0,12 €	0,36 €

Condensador 1 μ F	1	0,30 €	0,30 €
Condensador 2,2 μ F	1	0,26 €	0,26 €
Díode 1N4007	6	0,04 €	0,24 €
Regulador de tensió L7805CV	1	0,33 €	0,33 €
Regulador de tensió L7905CV	1	0,58 €	0,58 €
Porta-fusible	2	0,16 €	0,32 €
Fusible d'1A	2	0,12 €	0,24 €
Amplificador Operacional LM324-N	1	0,39 €	0,39 €
Transistor NPN BD139	2	0,30 €	0,60 €
Transistor PNP BD140	2	0,3	0,60 €
Alimentador de paret d'1 A	2	10,74 €	21,48 €
Raspberry Pi 3B	1	29,47 €	29,47 €
Carregador Raspberry Pi 3B	1	10,50 €	10,50 €
Sòcol per DIP-14	1	0,09 €	0,09 €
Connector aeri 2 entrades	6	0,33 €	1,98 €
Connector aeri per F.A.	2	0,41 €	0,82 €
Dissipador calor	6	0,45 €	2,70 €
Placa baquelita 75x90 mm	1	2,64 €	2,64 €
Placa baquelita 90x155 mm	1	5,25 €	5,25 €
Mica	6	0,64 €	3,84 €
Pasta tèrmica	1 g	2,02 €/g	2,02 €
Cargol M3x0,05	6	0,02 €	0,12 €
Rosca M3x0,5	6	0,02 €	0,12 €
Capsa 268x200x76	1	16,75 €	16,75 €
Cable	2 m	0,3 €/m	0,60 €
TOTAL			930,90 €

Pressupost de la verificació

Element	Quantitat	Cost unitari	Cost
Temps treballat	72 h	10 €/h	828 €
Multímetre digital AM-550-EUR	1 mes	5 €/mes	5,00 €
Oscil·loscopi digital Hantek 6022BE	1 mes	2,5 €/mes	2,50 €
Portàtil HP 15-ba033ns	1 mes	15 €/mes	15,00 €
Cable banana-banana	3	1,40 €	4,20 €
Pinces cocodrill	6	0,92 €	5,52 €
Resistència 0,1 Ω 5 W	1	0,51 €	0,51 €
TOTAL			860,73 €

Pressupost total del prototipus

Bloc	Cost
Disseny	8.025,41 €
Muntatge	930,90 €
Verificació	860,73 €
TOTAL	9.817,04 €

Pressupost unitari en producció en sèrie

Es considera que es fabrica un lot de 10.000 unitats, per tant el cost del prototipus inicial es reparteix entre aquestes. Considerant que les hores del muntatge es reduirien fins a 4 h al produir-lo en cadena, i que el preu dels materials baixaria un 30% al comprar grans quantitats d'aquests, el pressupost unitari al produir el generador de funcions en sèrie es mostra en la taula següent.

Element	Quantitat	Cost unitari	Cost
Temps treballat	4 h	8 €/h	32 €
Resistència 1 kΩ 0,5 W	3	0,01 €	0,03 €
Resistència 10 kΩ 0,25 W	2	0,01 €	0,02 €
Resistència 11,8 kΩ 0,6 W	1	0,02 €	0,02 €
Resistència 31,6 kΩ 0,6 W	2	0,02 €	0,04 €
Resistència 30 kΩ 0,6 W	1	0,02 €	0,02 €
Condensador 10 nF	1	0,06 €	0,06 €
Condensador 100 nF	3	0,08 €	0,24 €
Condensador 1 µF	1	0,21 €	0,21 €
Condensador 2,2 µF	1	0,18 €	0,18 €
Díode 1N4007	6	0,03 €	0,18 €
Regulador de tensió L7805CV	1	0,23 €	0,23 €
Regulador de tensió L7905CV	1	0,41 €	0,41 €
Porta-fusible	2	0,11 €	0,22 €
Fusible d'1A	2	0,08 €	0,16 €
Amplificador Operacional LM324-N	1	0,27 €	0,27 €
Transistor NPN BD139	2	0,21 €	0,42 €
Transistor PNP BD140	2	0,21 €	0,42 €
Alimentador de paret d'1 A	2	7,52 €	15,04 €
Raspberry Pi 3B	1	20,63 €	20,63 €
Carregador Raspberry Pi 3B	1	7,35 €	7,35 €
Sòcol per DIP-14	1	0,06 €	0,06 €
Connector aeri 2 entrades	6	0,23 €	1,38 €
Connector aeri per F.A.	2	0,29 €	0,58 €
Dissipador calor	6	0,32 €	1,92 €

Placa baquelita 75x90 mm	1	1,85 €	1,85 €
Placa baquelita 90x155 mm	1	3,68 €	3,68 €
Mica	6	0,45 €	2,70 €
Pasta tèrmica	1 g	1,41 €/g	1,41 €
Cargol M3x0,05	6	0,01 €	0,06 €
Rosca M3x0,5	6	0,01 €	0,06 €
Capsa 268x200x76	1	11,73 €	11,73 €
Cable	2 m	0,21 €/m	0,42 €
Cost proporcional prototipus	1	0,98 €	0,98 €
TOTAL			104,98 €

Bibliografia

1. Microsoft Corp. Clase Stopwatch (System.Diagnostics). A: [en línia]. [Consulta: 17 març 2018]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.diagnostics.stopwatch\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.diagnostics.stopwatch(v=vs.110).aspx).
2. Henderson, G. WiringPi - GPIO Interface library for the Raspberry Pi. A: [en línia]. [Consulta: 21 març 2018]. Disponible a: <http://wiringpi.com/>.
3. Raspberry Pi GPIO Pinout. A: [en línia]. [Consulta: 17 març 2018]. Disponible a: <https://pinout.xyz/>.
4. Microsoft Corp. Clase Thread (System.Threading). A: [en línia]. [Consulta: 8 maig 2018]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.threading.thread\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.threading.thread(v=vs.110).aspx).
5. Microsoft Corp. Método Math.Sin (Double) (System). A: [en línia]. [Consulta: 8 maig 2018]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.math.sin\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.math.sin(v=vs.110).aspx).
6. Microsoft Corp. Clase ListBox (System.Windows.Forms). A: [en línia]. [Consulta: 29 març 2018]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.windows.forms.listbox\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.windows.forms.listbox(v=vs.110).aspx).
7. Microsoft Corp. Propiedad Control.Enabled (System.Windows.Forms). A: [en línia]. [Consulta: 21 març 2018]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.windows.forms.control.enabled\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.windows.forms.control.enabled(v=vs.110).aspx).

Annex A – Manual d'usuari i instruccions de muntatge

A1. Manual d'usuari

En aquest manual s'explica com utilitzar adequadament el generador per a que realitzi la funció per a la qual ha estat dissenyat.

Per utilitzar correctament el generador de funcions, cal seguir una sèrie de passos:

- Haver realitzat tots els passos que s'indiquen en les instruccions de muntatge de l' Annex A2., per a que el generador de funcions estigui llest per ser utilitzat.
- Encendre la Raspberry Pi 3B i esperar 1 minut per a que carregui l'escriptori, com es mostra en la Figura A1.1..

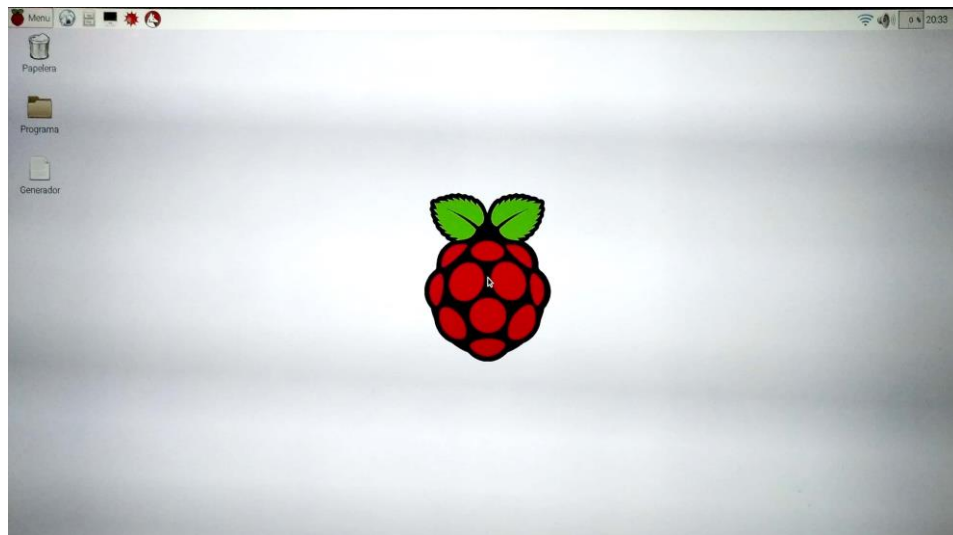


Figura A1.1. Escriptori de la Raspberry Pi.(Font: Pròpia)

- Fer doble clic sobre la icona "Generador", com es mostra en la Figura A1.2.. Ha de sortir el programa que es mostra en la Figura A1.3..

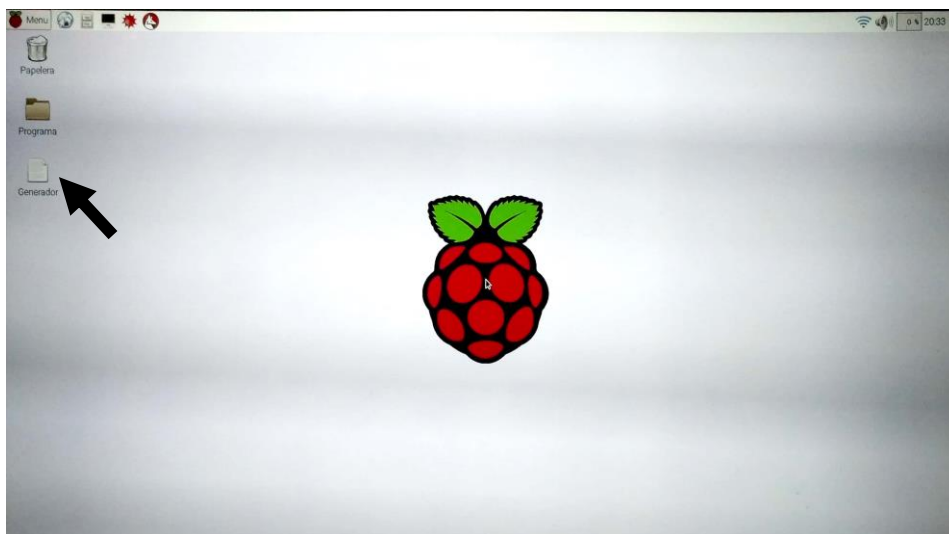


Figura A1.2. Escriptori de la Raspberry Pi on està assenyalat la icona de l'aplicació.(Font: Pròpia)

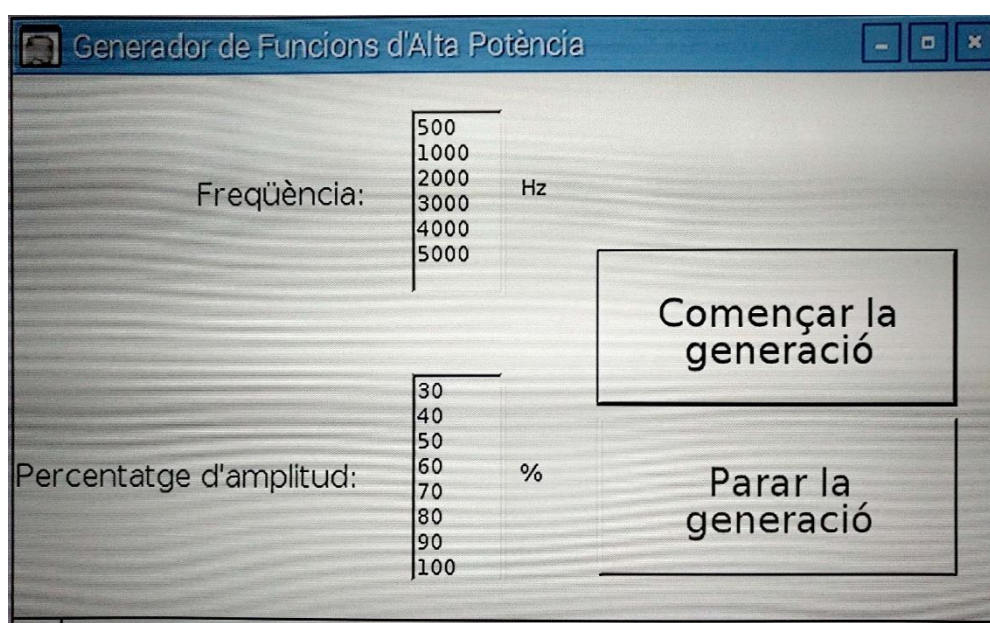


Figura A1.3. Aplicació del generador de funcions realitzat.(Font: Pròpia)

- Ara es poden seleccionar la freqüència i el percentatge d'amplitud del senyal generat mitjançant les llistes on surten les opcions disponibles per triar. Si no es tries cap, s'utilitzarien per defecte 5 kHz de freqüència i 100% de percentatge d'amplitud. En la Figura A1.4. es mostra un exemple en que s'escull la freqüència i el percentatge d'amplitud

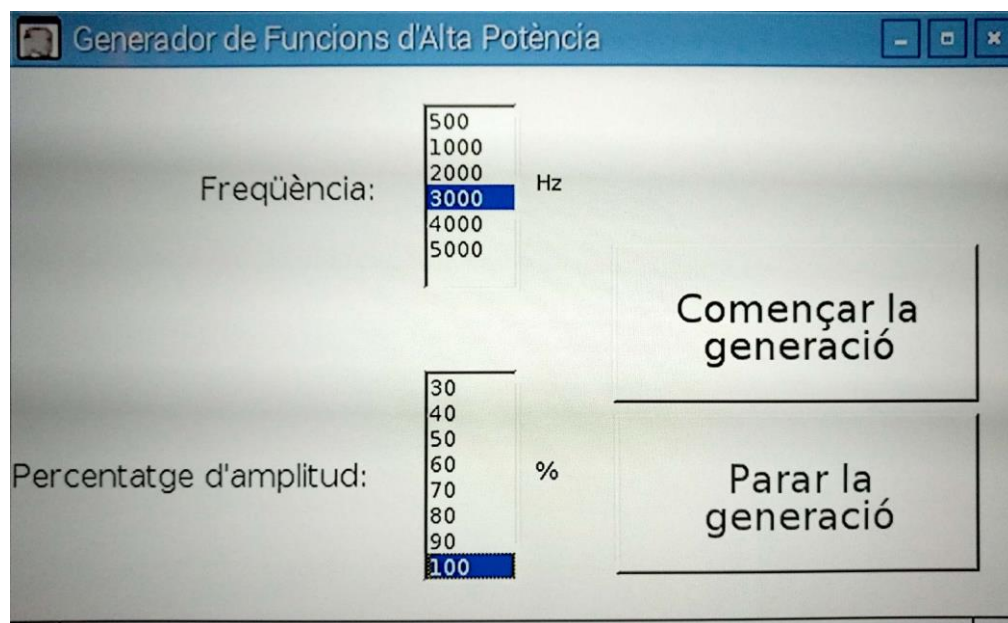


Figura A1.4. Aplicació del generador de funcions realitzat, on es trien la freqüència i el percentatge d'amplitud desitjats.(Font: Pròpia)

- Per començar a generar la funció, cal polsar sobre el botó “Començar la generació”. Un cop polsat, es desactivarà la possibilitat de canviar els paràmetres introduïts o de poder tornar a polsar sobre el botó, i s’activarà alhora la possibilitat de polsar sobre el botó “Parar la generació”.
- Si es vol parar la generació o es volen canviar els valors dels paràmetres del senyal generat, cal polsar primer a sobre del botó “Parar la generació”. Al fer-ho, es detindrà la generació del senyal i s’activaran les possibilitats de canviar els paràmetres i de polsar sobre el botó “Començar la generació”, per tal de poder tornar a generar el senyal amb uns altres valors dels paràmetres. També es desactivarà aquest botó que s’acaba de polsar.
- Si es vol parar definitivament el programa, només cal que un cop ha estat polsat el botó “Parar la generació” es polsi sobre la creu que hi ha a dalt a la dreta de l’aplicació.
- Si es vol apagar la Raspberry Pi, s’ha de polsar en el menú que hi ha a dalt a l’esquerra, com es senyala en la Figura A1.5. i sortirà el menú que es mostra en la Figura A1.6..

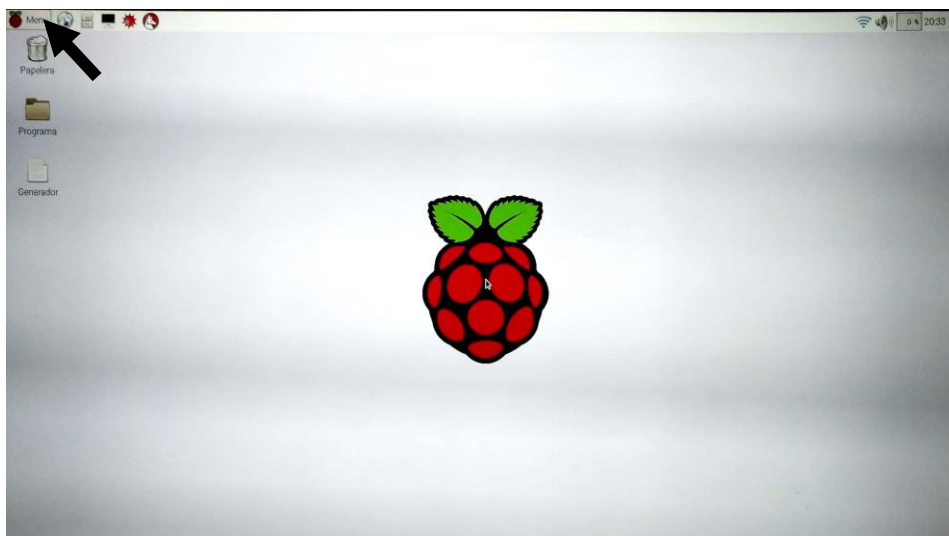


Figura A1.5. Escriptori de la Raspberry Pi on està assenyalat el menú.(Font: Pròpia)

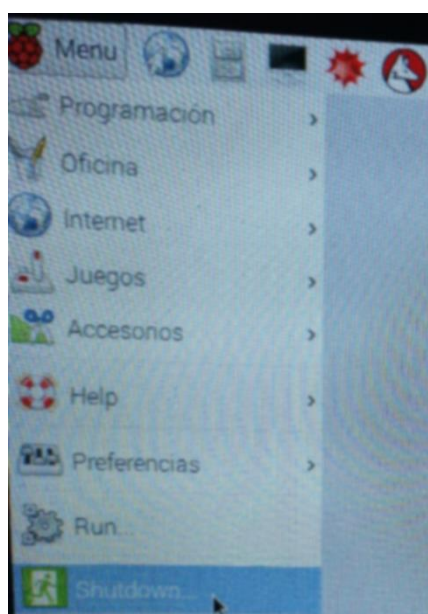


Figura A1.6. Menú de l'escriptori de la Raspberry Pi on està assenyalat el botó d'apagar.(Font: Pròpia)

- Posteriorment, s'ha de pulsar sobre el botó d'apagar "Shutdown", com es mostra en la figura anterior, Figura A1.6.. Al fer-ho, sortirà el panell d'apagar la Raspberry Pi, com es mostra en la Figura A1.7..

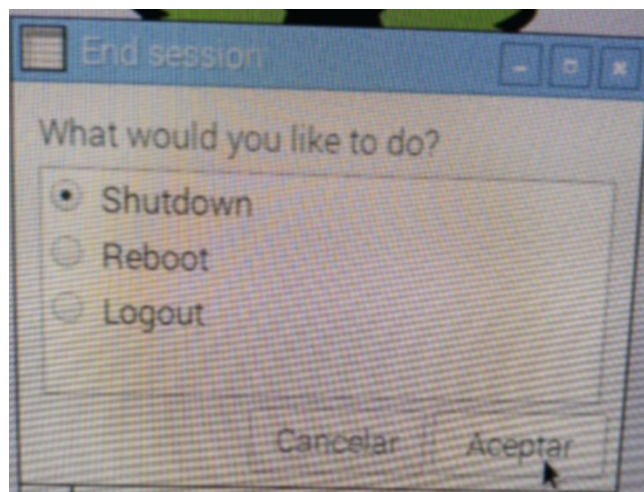


Figura A1.7. Menú de l'escriptori de la Raspberry Pi on està assenyalat el botó d'apagar.(Font: Pròpia)

- Estant marcat per defecte l'opció d'apagar "Shutdown" només cal pulsar sobre el botó "Acceptar" per tancar la Raspberry Pi, com es mostra en la Figura A1.7..

A2. Instruccions de muntatge

Aquí es mostren les instruccions de muntatge del generador de funcions que s'han de realitzar un cop es tinguin tots els components necessaris (Raspberry Pi 3B, circuits dels blocs de potència i d'alimentacions muntats, cable HDMI, teclat, ratolí, pantalla, etc). Aquestes es divideixen en dos apartats per facilitar el seu ús i permetre localitzar més ràpidament la part desitjada.

A2.1 Connexionat

Començant pel bloc de potència, en la Figura A2.1. es mostren les connexions que s'han de realitzar sobre el circuit.

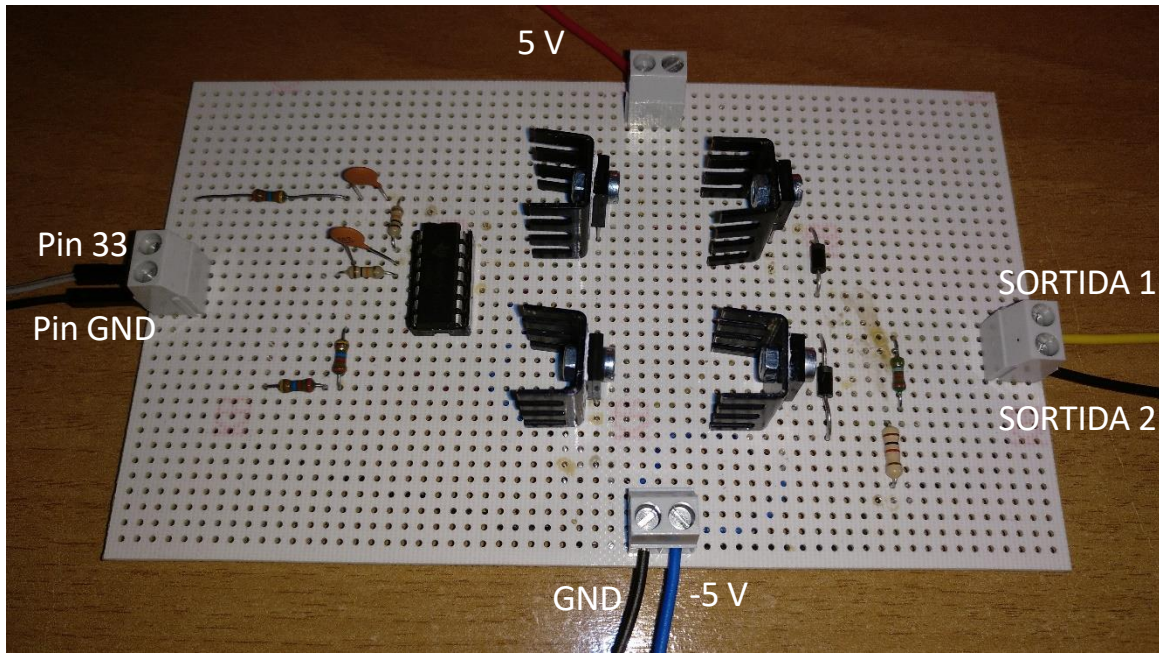


Figura A2.1. Bloc de potència del prototipus realitzat on es mostren les connexions. (Font: Pròpia)

Com es pot veure, li entren les tres tensions provinents del bloc d'alimentacions (5 V, -5 V i GND). També es connecta a l'esquerra del circuit el pin 33 de la Raspberry Pi 3B, que s'encarrega de generar els polsos PWM. A més, també se li connecta un dels pins de GND de la Raspberry Pi per igualar les referències de tensió. Per últim, es connecta a la dreta del circuit la càrrega inductiva mitjançant dos cables. En concret, per connectar la càrrega al bloc de potència es necessita connectar aquests cables a un parell de cables banana-banana i utilitzar 4 pinces cocodrill, tal i com es mostra en la Figura A2.2..

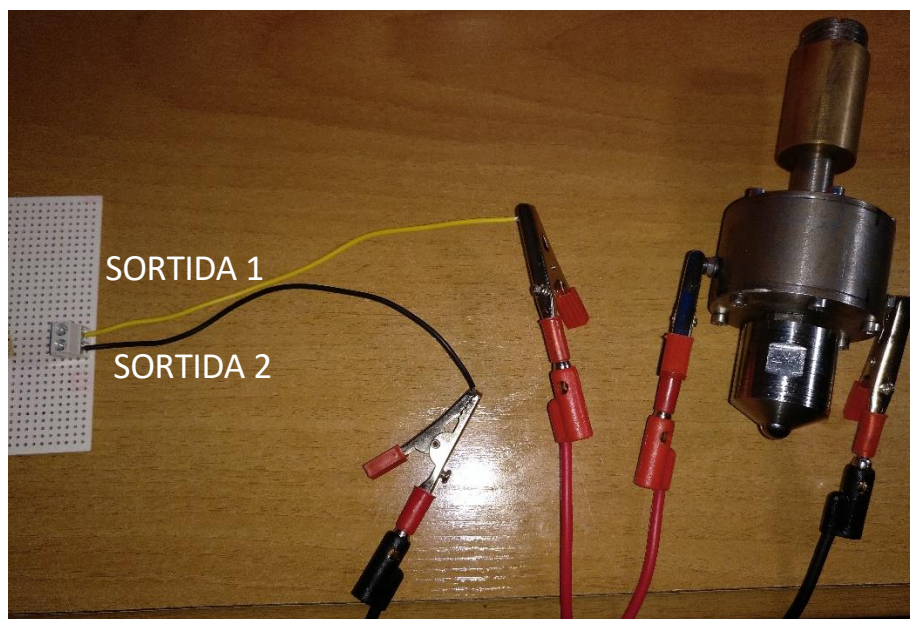


Figura A2.2. Connexió de la càrrega al bloc de potència.(Font: Pròpia)

Continuant pel bloc de les alimentacions, en la Figura A2.3. es mostren les connexions a realitzar sobre el circuit que alimenta el bloc de potència.

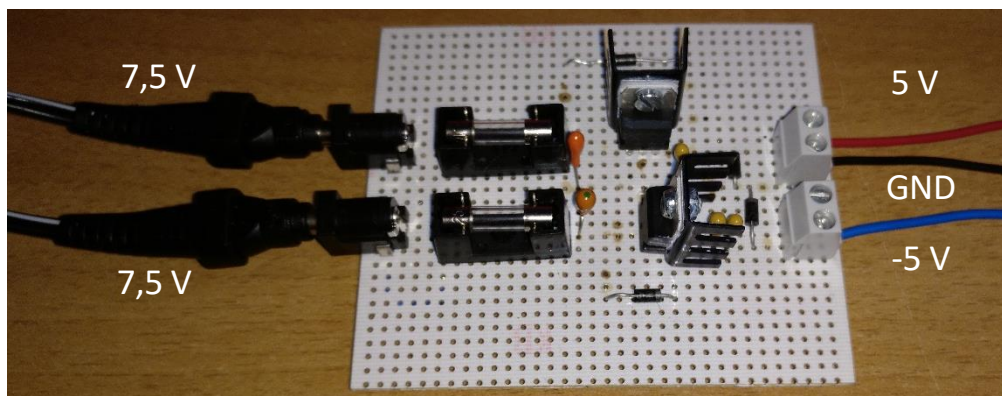


Figura A2.3. Bloc d'alimentacions del prototipus realitzat on es mostren les connexions.(Font: Pròpia)

Com s'observa, a la dreta del circuit surten les tensions d'alimentació del circuit de potència (5 V, -5 V i GND). A l'esquerra, entren en el circuit les tensions de 7,5 V provinents de les fonts de paret utilitzades. Cal dir que es important col·locar correctament els connectors de les fonts (amb la fletxa indicant que la part positiva està en el interior del connector en els dos connectors), tal i com es mostra en la Figura A2.4..

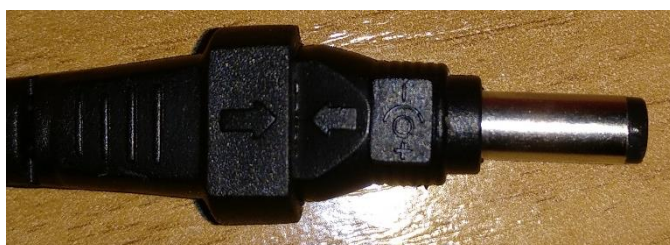


Figura A2.4. Connector de les fonts col·locat correctament.(Font: Pròpia)

A més, cal posar el selector de les dues fonts a 7,5 V com s'indica en la Figura A2.5..



Figura A2.5. Font de paret on es mostra que està seleccionat per aportar 7,5 V.(Font: Pròpia)

Finalitzant amb el bloc de generació de formes d'ona, en la Figura A2.6 es mostren les connexions a realitzar sobre la Raspberry Pi 3B.

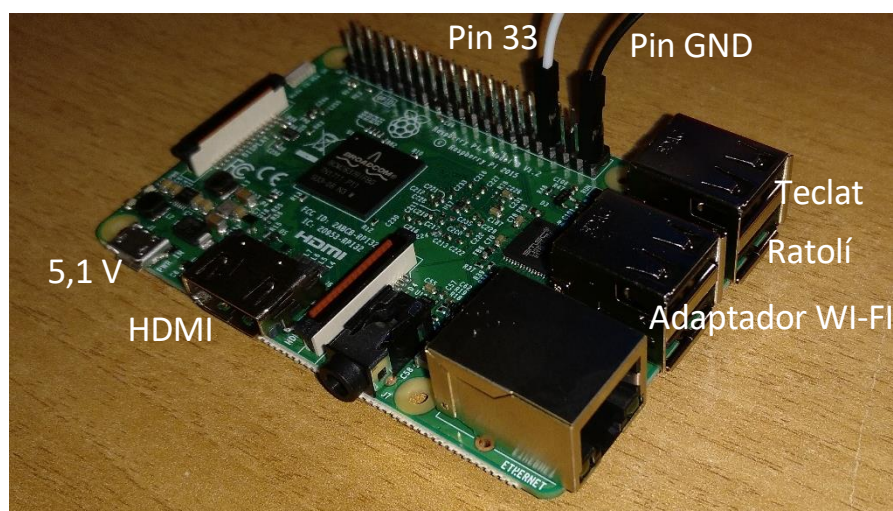


Figura A2.6. Bloc de generació de formes d'ona on es mostren les connexions.(Font: Pròpia)

Com es pot veure, surten el pin 33 i el pin GND cap al circuit de potència del generador. També cal connectar l'alimentador de la Raspberry Pi on s'indica que entren 5,1 V. Per controlar la Raspberry Pi 3B, cal connectar-la a una pantalla mitjançant un cable HDMI connectat on s'indica. A més s'ha de

connectar el teclat i el ratolí en els ports USB. I per dur a terme la configuració inicial de la Raspberry Pi, es necessita utilitzar un adaptador WI-Fi connectat en un port USB (un cop finalitzada la configuració inicial ja no es necessari) o un cable Ethernet connectat en el port d'entrada Ethernet de la Raspberry.

A més, també cal connectar una targeta microSD amb el sistema operatiu, que es pot obtenir seguint els passos de l' Annex A2.2., en la part del darrere de la Raspberry Pi 3B, on s'indica en la Figura A2.7..



Figura A2.7. Bloc de generació de formes d'ona on es mostra la ubicació de la targeta microSD.(Font: Pròpia)

Finalment, es col·loca tot el generador de funcions realitzat en una capsa on es queden fixats els diferents blocs i on es realitzen els forats necessaris per tal de realitzar les connexions exteriors al generador. En la Figura A2.8. es mostra el generador de funcions realitzat sense coberta i en la Figura A2.9. amb coberta.

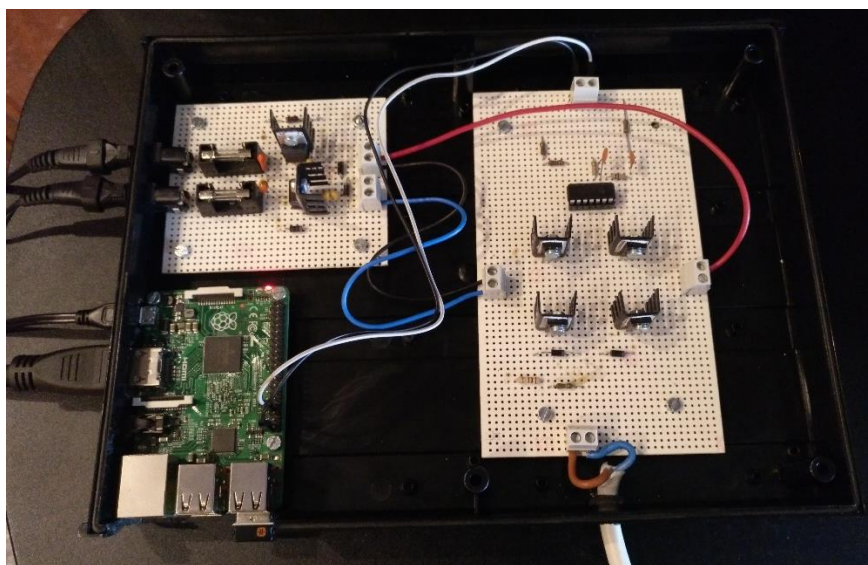


Figura A2.8. Generador de funcions realitzat sense el recobriment superior de la capsa.(Font: Pròpia)



Figura A2.9. Generador de funcions realitzat amb el recobriment superior de la capsa.(Font: Pròpia)

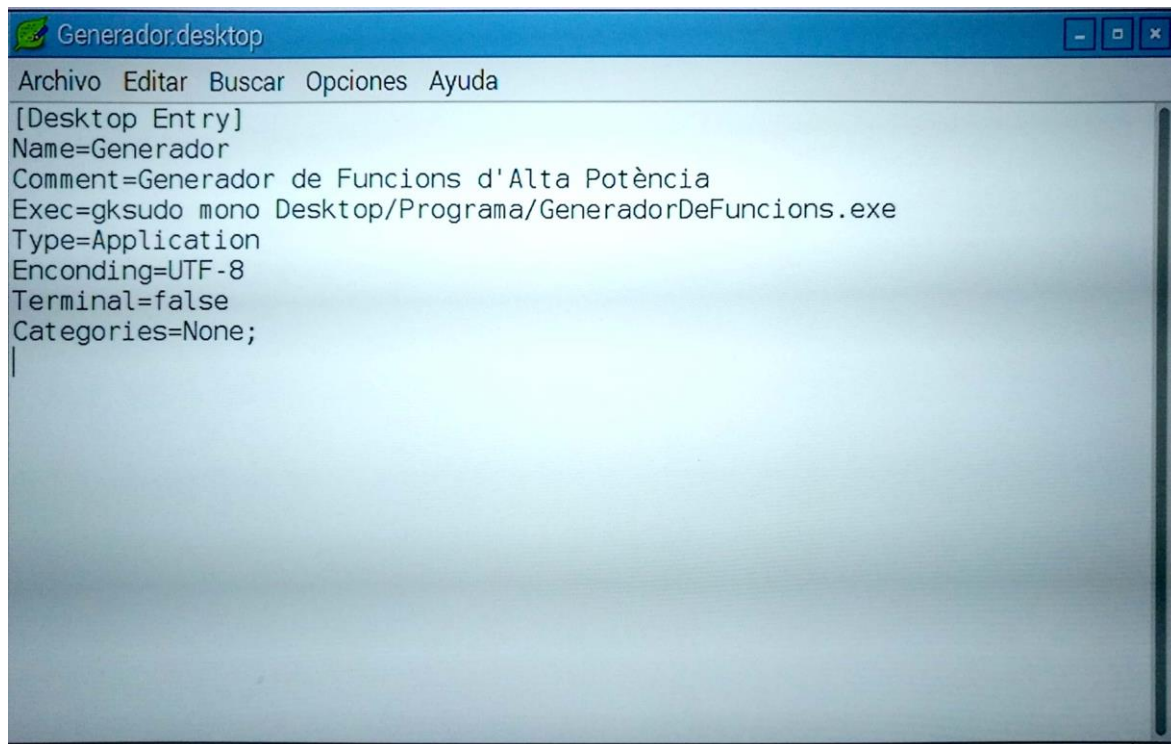
A2.2 Configuració de la Raspberry Pi 3B

Per configurar la Raspberry Pi 3B per primer cop, cal seguir una sèrie de passos:

- Primer, s'ha de posar el sistema operatiu en la targeta de memòria microSD. Per fer-ho cal anar a la web de descàrrega del sistema operatiu NOOBS de Raspberry (<https://www.raspberrypi.org/downloads/>), polsar en "NOOBS" i després en "Download ZIP".
- A continuació, cal posar la targeta microSD en l'ordinador, formatar-la i descomprimir els fitxers descarregats a dins.
- Posteriorment, s'ha d'extreure la targeta microSD amb seguretat i col·locar-la en la ranura corresponent de la Raspberry Pi 3B.
- Un cop fet lo anterior i tenint totes les connexions realitzades excepte l'alimentació, s'ha d'obrir la pantalla on s'ha connectat el HDMI i posteriorment s'ha de connectar l'alimentació de 5,1 V de la Raspberry Pi 3B.
- Sortirà en pantalla un menú on s'ha de triar el sistema operatiu que es vol instal·lar. S'ha de triar la casella de "Raspbian", després s'ha de prémer el botó "Install" i quan surti un missatge emergent polsar en "Yes".
- Ara es pot seleccionar en la part inferior l'idioma i el tipus de teclat, per lo que es recomanable seleccionar "Español" i "es". Després d'esperar una bona estona a que s'acabi d'instal·lar, sortirà un missatge informant de que s'ha acabat la instal·lació, aleshores s'ha de polsar sobre el botó "OK".
- Posteriorment, es carregarà l'escriptori del sistema operatiu que s'acaba d'instal·lar.

- Ara s'ha de connectar la Raspberry Pi a internet mitjançant una xarxa wi-fi utilitzant un adaptador wi-fi o mitjançant una connexió amb cable ethernet. En el cas d'utilitzar el cable ethernet, no cal configurar res més sobre internet. En el cas de la wi-fi, un cop connectat l'adaptador s'ha de pulsar sobre la icona de dalt a la dreta on surten dos ordinadors amb una creu, i després s'ha de pulsar sobre la xarxa que es vol utilitzar i introduir les credencials d'accés (en el cas que es necessitin).
- Un cop fet tot lo anterior, es pot començar a descarregar tot lo necessari per acabar de configurar la Raspberry Pi per la tasca desitjada. Per fer-ho, primer de tot s'ha obrir la consola de comandes (icona de dalt de color negra).
- Després, s'ha d'introduir la següent comanda "sudo apt-get Update" i pulsar la tecla ENTER, per actualitzar la Raspberry Pi.
- Una vegada hagi acabat, s'ha d'introduir la comanda "sudo apt-get install mono-complete" per descarregar el software que permetrà executar l'aplicació generada en C#.
- Un cop instal·lat, es necessiten descarregar i instal·lar una sèrie de llibreries per tal de poder controlar els pins de la Raspberry Pi 3B. Per fer-ho s'han d'introduir les següents comandes, una per una, seguides de la tecla ENTER quan termini l'anterior: "sudo apt-get install git-core", "cd Documents", "sudo git clone git://git.drogon.net/wiringPi", "sudo ./build", "cd wiringPi", "sudo cc -shared wiringPi.o -o libwiringPi.so", "sudo cc -shared wiringPiI2C.o -o libwiringPiI2C.so", "sudo cc -shared wiringPiSPI.o -o libwiringPiSPI.so".
- Ara s'ha d'anar a l'ordinador amb sistema operatiu Windows on es vol generar l'aplicació i descarregar i instal·lar el programa GIT des de la seva web (<https://git-scm.com/downloads>).
- Un cop fet lo anterior, s'ha d'obrir una finestra "PowerShell" com administrador. Per fer-ho, en les versions més modernes de Windows s'ha de buscar en el buscador de baix a l'esquerra la paraula "PowerShell" sense prémer encara res. I després pulsar amb el botó secundari del ratolí a sobre de "Windows PowerShell" (Botó dret) i seleccionar "Ejecutar como administrador".
- Ara s'ha de desplaçar fins a la carpeta on es vulgui instal·lar la llibreria amb la utilització de la comanda "cd.." per retrocedir de carpeta i "cd .\"(nom_de_la_carpeta_sense_els_parèntesis)" per entrar en la carpeta indicada. Es recomana guardar-ho en una carpeta nova i on es pugui tenir accés posteriorment.
- Un cop instal·lada la llibreria, s'obre l'aplicació Visual Studio 2017 (si no està instal·lada, es pot descarregar des d'aquí: <https://www.visualstudio.com/es/downloads/>).
- Ara s'ha d'obrir l'arxiu "WiringPi.sln" que s'inclou en la llibreria descarregada, per fer-ho s'ha de pulsar en el Visual Studio 2017 en el botó "Archivo" després posicionar-se sobre "Abrir" i després pulsar sobre "Proyecto o solución...". Allí buscar l'arxiu en la carpeta anteriorment seleccionada i pulsar en "Abrir".

- Ara en el “Explorador de soluciones”, es polsa amb el botó secundari del ratolí (botó dret) sobre “ WiringPi “ i es polsa sobre “Compilar”.
- Un cop fet això, s’ha de generar l’aplicació que utilitzarà la Raspberry Pi. Per fer-ho, en el Visual Studio 2017 s’ha de polsar sobre el botó “Archivo” de dalt a l’esquerra, després posicionar el ratolí sobre “Nuevo” i després polsar sobre “Proyecto”.
- En la finestra emergent que surt, s’ha de polsar sobre “Aplicación de Windows Forms (.NET Framework)”, i després s’ha d’indicar el nom “GeneradorDeFuncions”, la ubicació del projecte que es desitgi i polsar sobre “Aceptar”.
- Ara s’ha obert entre altre coses una pestanya on surt “Form1.cs”, que es la part visual de l’aplicació. Aquesta part s’ha de realitzar segons el que surt en l’ Annex C2..
- Un cop realitzada la part visual de l’aplicació, s’ha d’obrir la part del codi que controla l’aplicació. Aquesta part es pot obrir clicant en el “Explorador de soluciones” amb el botó dret a sobre de “Form1.cs” i polsar sobre l’opció “Ver código”. Ara es mostrarà la part de codi de l’aplicació, i allí s’ha d’introduir el codi del programa que hi ha en l’ Annex C1..
- Un cop fet lo anterior, s’ha de polsar amb el botó secundari del ratolí (botó dret) sobre “Referencia” situat en el “Explorador de soluciones”, i polsar sobre “Agregar referencia...”.
- Ara s’ha de polsar sobre “Examinar” situat a l’esquerra i després a sobre del botó “Examinar...”.
- Aquí s’ha de navegar fins on es va instal·lar la llibreria, polsar sobre l’arxiu “WiringPi.dll”.
- Ara en el “Explorador de soluciones”, s’ha de polsar amb el botó secundari del ratolí (botó dret) sobre “GeneradorDeFuncions” i polsar sobre “Compilar”.
- I un cop fet això només queda anar a la carpeta on s’ha creat l’aplicació, entrar en la carpeta que té com a nom “GeneradorDeFuncions”, després entrar en la carpeta “bin”, entrar posteriorment en la carpeta “Debug”, i allí estan els arxius “GeneradorDeFuncions.exe” i “WiringPi.dll”.
- Aquests arxius s’han de passar a la Raspberry Pi (copiant-los en la targeta microSD o enviant-los per correu electrònic).
- Un cop passats aquests arxius a la Raspberry Pi, cal crear una carpeta a l’escriptori de la Raspberry Pi amb el nom “Programa” i posar-hi dins aquests arxius.
- Per acabar cal generar la icona d’escriptori que permeti executar directament el programa al clicar-la. Per fer-ho, cal anar a l’escriptori, polsar el botó dret en un lloc on no hi hagi res, posicionar-se a sobre de “Crear nuevo...”, polsar a sobre de “Archivo vacío” i posar com a nom “Generador.desktop” i clicar finalment en “Aceptar”.
- Després s’ha d’editar l’arxiu amb l’editor de text de Raspbian, per fer-ho cal polsar sobre l’arxiu creat amb el botó dret i seleccionar l’opció “Text Editor”.
- Un cop allí, s’ha d’introduir el codi que es mostra en la Figura A2.10..



```
[Desktop Entry]
Name=Generador
Comment=Generador de Funcions d'Alta Potència
Exec=gksudo mono Desktop/Programa/GeneradorDeFuncions.exe
Type=Application
Encoding=UTF-8
Terminal=false
Categories=None;
```

Figura A2.10. Codi de l'accés directe d'escriptori que executa l'aplicació generada per controlar el generador de funcions.(Font: Pròpia)

- Un cop introduït, s'ha de polsar sobre la creu de a dalt a la dreta, i en el menú que surt polsar en "Acceptar".
- Per últim, es pot comprovar que tot s'ha realitzat correctament fent doble clic a sobre de la icona generada, per tal d'executar el programa.

Annex B – Fulls de característiques de materials subministrats pel fabricant

B1. Amplificador operacional LM324-N

Product Folder
 Sample & Buy
 Technical Documents
 Tools & Software
 Support & Community

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N
SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers

1 Features

- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain) 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
 - Single Supply 3 V to 32 V
 - or Dual Supplies ± 1.5 V to ± 16 V
- Very Low Supply Current Drain (700 μ A)
—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current 45 nA (Temperature Compensated)
- Low Input Offset Voltage 2 mV and Offset Current: 5 nA
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing 0 V to $V^+ - 1.5$ V
- **Advantages:**
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Four Internally Compensated Op Amps in a Single Package
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{OUT} also Goes to GND
 - Compatible With All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage
 - Can Swing to Ground, Even Though Operated from Only a Single Power Supply Voltage
 - Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated
 - Input Bias Current is Also Temperature Compensated

2 Applications

- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks
- Conventional Op Amp Circuits

3 Description

The LM124-N series consists of four independent, high-gain, internally frequency compensated operational amplifiers designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split-power supplies is also possible and the low-power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

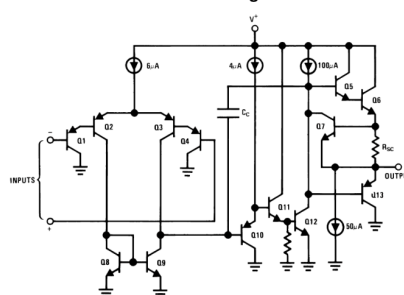
Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124-N series can directly operate off of the standard 5-V power supply voltage which is used in digital systems and easily provides the required interface electronics without requiring the additional ± 15 V power supplies.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM124-N	CDIP (14)	19.56 mm \times 6.67 mm
LM224-N		
LM324-N	CDIP (14)	19.56 mm \times 6.67 mm
	PDIP (14)	19.177 mm \times 6.35 mm
	SOIC (14)	8.65 mm \times 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm \times 4.40 mm
LM2902-N	PDIP (14)	19.177 mm \times 6.35 mm
	SOIC (14)	8.65 mm \times 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm \times 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Schematic Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Table of Contents

1 Features	1	7.3 Feature Description.....	11
2 Applications	1	7.4 Device Functional Modes.....	11
3 Description	1	8 Application and Implementation	13
4 Revision History	2	8.1 Application Information.....	13
5 Pin Configuration and Functions	3	8.2 Typical Applications	13
6 Specifications	4	9 Power Supply Recommendations	23
6.1 Absolute Maximum Ratings	4	10 Layout	23
6.2 ESD Ratings.....	4	10.1 Layout Guidelines	23
6.3 Recommended Operating Conditions.....	4	10.2 Layout Example	23
6.4 Thermal Information.....	5	11 Device and Documentation Support	24
6.5 Electrical Characteristics: LM124A/224A/324A	5	11.1 Related Links	24
6.6 Electrical Characteristics: LM124-N/224-N/324-N/2902-N	6	11.2 Trademarks	24
6.7 Typical Characteristics.....	8	11.3 Electrostatic Discharge Caution.....	24
7 Detailed Description	11	11.4 Glossary	24
7.1 Overview	11	12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	24
7.2 Functional Block Diagram	11		

4 Revision History

Changes from Revision C (November 2012) to Revision D	Page
<ul style="list-style-type: none"> Added <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i>, <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section 	1



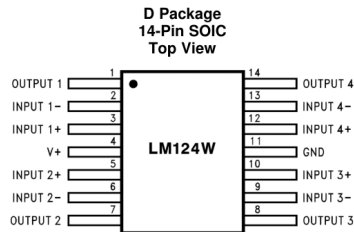
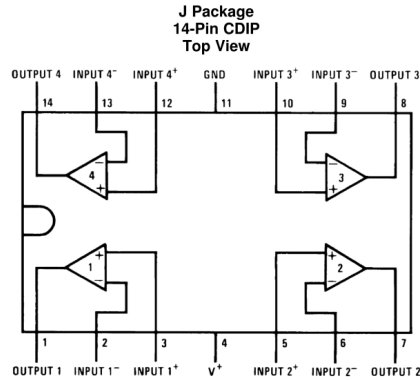


www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D –MARCH 2000–REVISED JANUARY 2015

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
OUTPUT1	1	O	Output, Channel 1
INPUT1-	2	I	Inverting Input, Channel 1
INPUT1+	3	I	Noninverting Input, Channel 1
V+	4	P	Positive Supply Voltage
INPUT2+	5	I	Noninverting Input, Channel 2
INPUT2-	6	I	Inverting Input, Channel 2
OUTPUT2	7	O	Output, Channel 2
OUTPUT3	8	O	Output, Channel 3
INPUT3-	9	I	Inverting Input, Channel 3
INPUT3+	10	I	Noninverting Input, Channel 3
GND	11	P	Ground or Negative Supply Voltage
INPUT4+	12	I	Noninverting Input, Channel 4
INPUT4-	13	I	Inverting Input, Channel 4
OUTPUT4	14	O	Output, Channel 4

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

See ⁽¹⁾⁽²⁾.

			LM124-N/LM224-N/LM324-N LM124A/LM224A/LM324A		LM2902-N		
			MIN	MAX	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage, V*				32		26	V
Differential Input Voltage				32		26	V
Input Voltage			-0.3	32	-0.3	26	V
Input Current (V _{IN} < -0.3 V) ⁽³⁾				50		50	mA
Power Dissipation ⁽⁴⁾	PDIP			1130		1130	mW
	CDIP			1260		1260	mW
	SOIC Package			800		800	mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) ⁽⁵⁾		V* ≤ 15 V and T _A = 25°C	Continuous		Continuous		
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)				260		260	°C
Soldering Information	Dual-In-Line Package	Soldering (10 seconds)		260		260	°C
	Small Outline Package	Vapor Phase (60 seconds)		215		215	°C
		Infrared (15 seconds)		220		220	°C
Storage temperature, T _{stg}			-65	150	-65	150	°C

(1) Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124-N military specifications.

(2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

(3) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).(4) For operating at high temperatures, the LM324-N/LM324A/LM2902-N must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 88°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224-N/LM224A and LM124-N/LM124A can be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.(5) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of 15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	± 250 V

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM124-N/LM124A/LM224-N/LM224A/LM324-N/LM324A	3	32	V
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM2902-N	3	26	V
Operating Input Voltage on Input pins	0	V^+	V
Operating junction temperature, T_J : LM124-N/LM124A	-55	125	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM2902-N	-40	85	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM224-N/LM224A	-25	85	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM324-N/LM324A	0	70	$^\circ\text{C}$

4 [Submit Documentation Feedback](#)

Copyright © 2000–2015, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: [LM124-N](#) [LM224-N](#) [LM2902-N](#) [LM324-N](#)



www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N
SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LM124-N / LM224-N	LM324-N / LM2902-N	UNIT
	J/CDIP	D/SOIC	
	14 PINS	14 PINS	
R _{θJA} Junction-to-ambient thermal resistance	88	88	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

6.5 Electrical Characteristics: LM124A/224A/324A

V⁺ = 5.0 V, ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER		TEST CONDITIONS	LM124A			LM224A			LM324A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage		T _A = 25°C ⁽²⁾		1	2		1	3		2	3	mV
Input Bias Current ⁽³⁾		I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0 V, T _A = 25°C		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current		I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0 V, T _A = 25°C		2	10		2	15		5	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range ⁽⁴⁾		V ⁺ = 30 V, (LM2902-N, V ⁺ = 26 V), T _A = 25°C	0	V ⁺ -1.5		0	V ⁺ -1.5		0	V ⁺ -1.5		V
Supply Current		Over Full Temperature Range, R _L = ∞ On All Op Amps V ⁺ = 30 V (LM2902-N V ⁺ = 26 V)		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
		V ⁺ = 5 V		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain		V ⁺ = 15 V, R _L ≥ 2 kΩ, (V _O = 1 V to 11 V), T _A = 25°C	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio		DC, V _{CM} = 0 V to V ⁺ - 1.5 V, T _A = 25°C	70	85		70	85		65	85		dB
Power Supply Rejection Ratio		V ⁺ = 5 V to 30 V, (LM2902-N, V ⁺ = 5V to 26 V), T _A = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling ⁽⁵⁾		f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C, (Input Referred)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source	V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V, T _A = 25°C	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink	V _{IN} ⁻ = 1 V, V _{IN} ⁺ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V, T _A = 25°C	10	20		10	20		10	20		
			V _{IN} ⁻ = 1 V, V _{IN} ⁺ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C	12	50		12	50		12	50	
Short Circuit to Ground		V ⁺ = 15 V, T _A = 25°C ⁽⁶⁾		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage		See ⁽²⁾		4			4			5		mV
V _{OS} Drift		R _S = 0 Ω		7	20		7	20		7	30	μV/°C
Input Offset Current		I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0 V		30			30			75		nA

- These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM124-N/LM124A. With the LM224-N/LM224A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ +85°C, the LM324-N/LM324A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C, and the LM2902-N specifications are limited to -40°C ≤ T_A ≤ +85°C.
- V_O = 1.4V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V⁺ - 1.5 V) for LM2902-N, V⁺ from 5 V to 26 V.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ - 1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2902-N), independent of the magnitude of V⁺.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of 15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Copyright © 2000–2015, Texas Instruments Incorporated

[Submit Documentation Feedback](#)

5

Product Folder Links: [LM124-N](#) [LM224-N](#) [LM2902-N](#) [LM324-N](#)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Electrical Characteristics: LM124A/224A/324A (continued)
V⁺ = 5.0 V, ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124A			LM224A			LM324A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
I _{OS} Drift	R _S = 0 Ω		10	200		10	200		10	300	pA/°C
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)}		40	100		40	100		40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range ⁽⁴⁾	V ⁺ = 30 V, (LM2902-N, V ⁺ = 26 V)	0		V ⁺ -2	0		V ⁺ -2	0		V ⁺ -2	V
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = 15 V (V _O Swing = 1 V to 11 V), R _L ≥ 2 kΩ	25			25			15			V/mV
Output Voltage Swing	V _{OH}		26		26			26			V
	V _{OL}		27	28	27	28		27	28		
Output Current	V ⁺ = 30 V (LM2902-N, V ⁺ = 26 V)		5	20		5	20		5	20	mV
	Source		10	20	10	20		10	20		mA
	Sink		10	15	5	8		5	8		

6.6 Electrical Characteristics: LM124-N/224-N/324-N/2902-N
V⁺ = +5.0V, ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124-N / LM224-N			LM324-N			LM2902-N			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	T _A = 25°C ⁽²⁾		2	5		2	7		2	7	mV
Input Bias Current ⁽³⁾	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0 V, T _A = 25°C		45	150		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0 V, T _A = 25°C		3	30		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range ⁽⁴⁾	V ⁺ = 30 V, (LM2902-N, V ⁺ = 26 V), T _A = 25°C	0		V ⁺ -1.5	0		V ⁺ -1.5	0		V ⁺ -1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps, V ⁺ = 30 V (LM2902-N V ⁺ = 26 V)		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
	V ⁺ = 5 V		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = 15V, R _L ≥ 2 kΩ, (V _O = 1 V to 11 V), T _A = 25°C	50		100	25		100	25		100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, V _{CM} = 0 V to V ⁺ - 1.5 V, T _A = 25°C	70		85	65		85	50		70	dB
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5 V to 30 V (LM2902-N, V ⁺ = 5 V to 26 V), T _A = 25°C	65		100	65		100	50		100	dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling ⁽⁵⁾	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred)		-120			-120			-120		dB

(1) These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM124-N/LM124A. With the LM224-N/LM224A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ +85°C, the LM324-N/LM324A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C, and the LM2902-N specifications are limited to -40°C ≤ T_A ≤ +85°C.

(2) V_O = 1.4V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V⁺ - 1.5 V) for LM2902-N, V⁺ from 5 V to 26 V.

(3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ - 1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2902-N), independent of the magnitude of V⁺.

(5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

6 [Submit Documentation Feedback](#)

Copyright © 2000–2015, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: [LM124-N](#) [LM224-N](#) [LM2902-N](#) [LM324-N](#)



LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

www.ti.com

SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

Electrical Characteristics: LM124-N/224-N/324-N/2902-N (continued)

$V^+ = +5.0V$, ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER		TEST CONDITIONS	LM124-N / LM224-N			LM324-N			LM2902-N			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Output Current	Source	$V_{IN}^{+} = 1\text{ V}$, $V_{IN}^{-} = 0\text{ V}$, $V^{+} = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	20	40		20	40		20	40		mA	
	Sink	$V_{IN}^{-} = 1\text{ V}$, $V_{IN}^{+} = 0\text{ V}$, $V^{+} = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	10	20		10	20		10	20		mA	
		$V_{IN}^{-} = 1\text{ V}$, $V_{IN}^{+} = 0\text{ V}$, $V^{+} = 15\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	12	50		12	50		12	50		μA	
Short Circuit to Ground		$V^{+} = 15\text{ V}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ⁽⁶⁾		40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage		See ⁽²⁾			7			9			10	mV	
V_{OS} Drift		$R_S = 0\ \Omega$			7			7			7	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
Input Offset Current		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$			100			150			45	200	nA
I_{OS} Drift		$R_S = 0\ \Omega$			10			10			10	$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$			40	300		40	500		40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range ⁽⁴⁾		$V^{+} = 30\text{ V}$, (LM2902-N, $V^{+} = 26\text{ V}$)	0		$V^{+}-2$	0		$V^{+}-2$	0		$V^{+}-2$	V	
Large Signal Voltage Gain		$V^{+} = 15\text{ V}$ (V_O Swing = 1V to 11V), $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25			15			15			V/mV	
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^{+} = 30\text{ V}$ (LM2902-N, $V^{+} = 26\text{ V}$)		26			26			22		V	
				27	28		27	28		23	24		
	V_{OL}	$V^{+} = 5\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$			5	20		5	20		5	100	mV
Output Current	Source	$V_O = 2\text{ V}$		10	20		10	20		10	20	mA	
	Sink			5	8		5	8		5	8	mA	

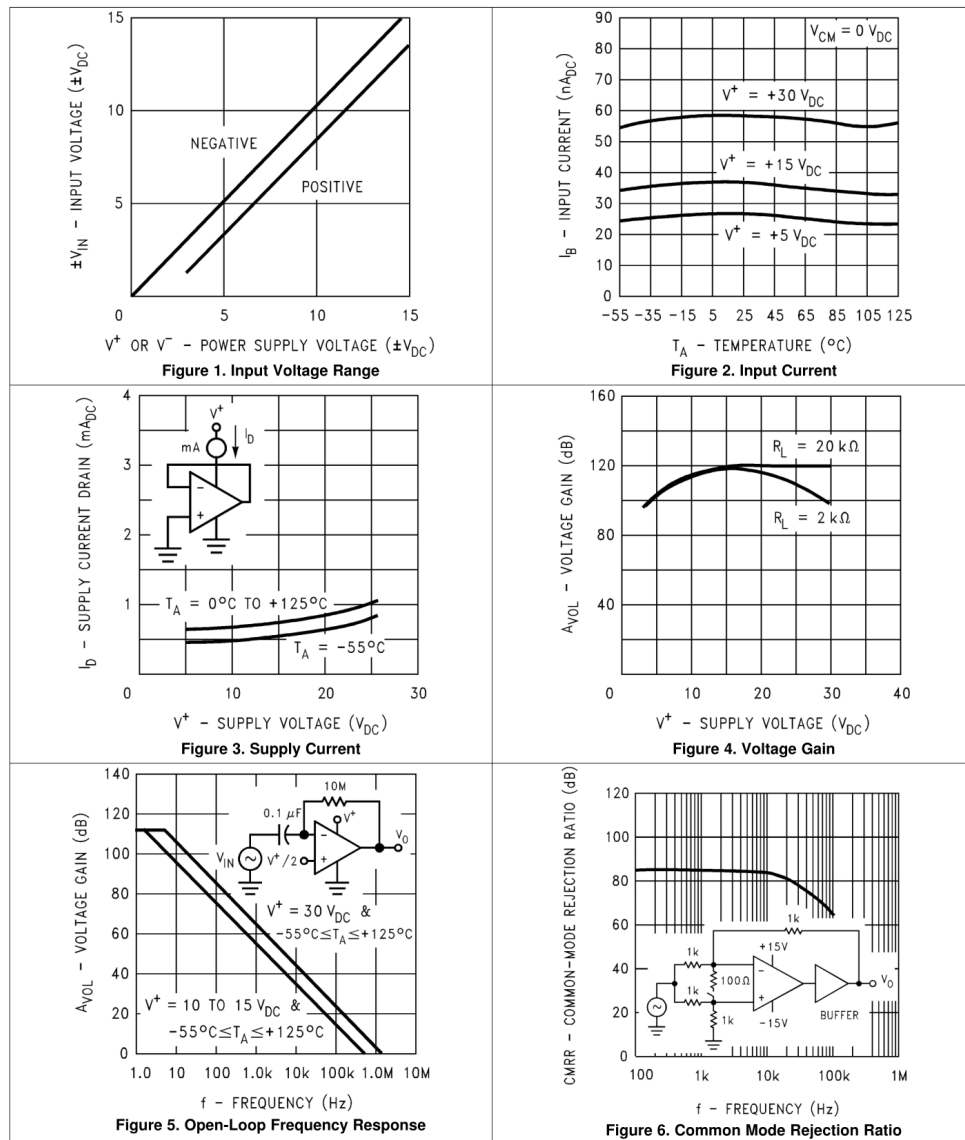
(6) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of 15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

6.7 Typical Characteristics


Typical Characteristics (continued)

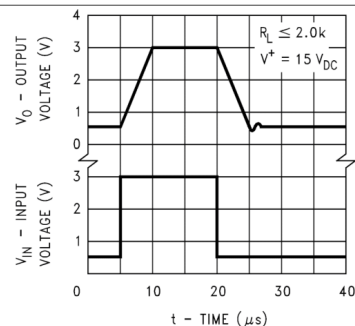


Figure 7. Voltage Follower Pulse Response

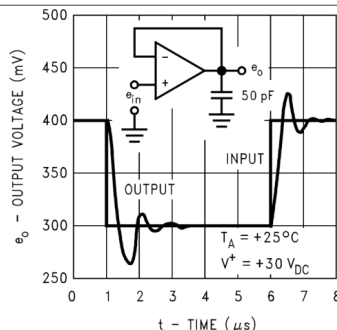


Figure 8. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

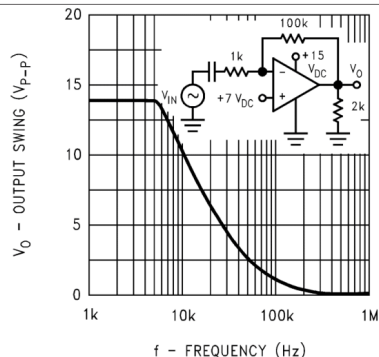


Figure 9. Large Signal Frequency Response

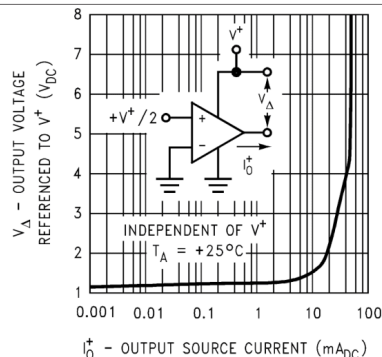


Figure 10. Output Characteristics Current Sourcing

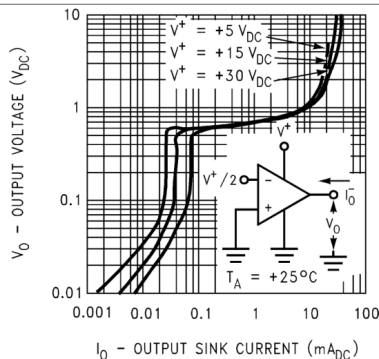


Figure 11. Output Characteristics Current Sinking

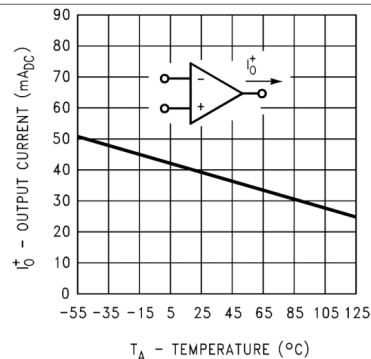


Figure 12. Current Limiting

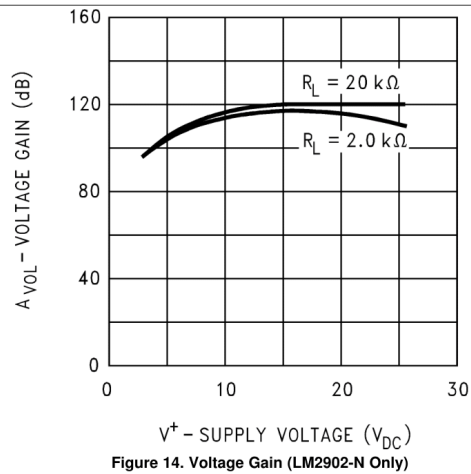
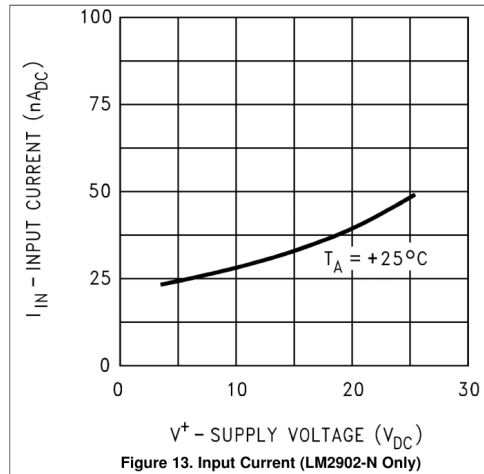
LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Typical Characteristics (continued)





www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

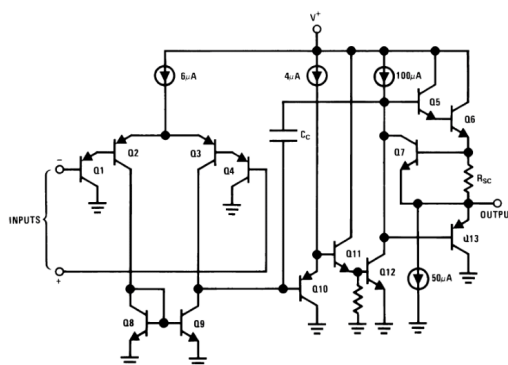
SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

7 Detailed Description

7.1 Overview

The LM124-N series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC} . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC} .

7.2 Functional Block Diagram



7.3 Feature Description

The LM124 provides a compelling balance of performance versus current consumption. The 700 μA of supply current draw over the wide operating conditions with a 1-MHz gain-bandwidth and temperature compensated bias currents makes the LM124 an effective solution for large variety of applications. The input offset voltage of 2 mV and offset current of 5 nA, along with the 45-nA bias current across a wide supply voltage means a single design can be used in a large number of different implementations.

7.4 Device Functional Modes

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3 V_{DC}$ (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

Copyright © 2000–2015, Texas Instruments Incorporated

[Submit Documentation Feedback](#)

11

Product Folder Links: [LM124-N](#) [LM224-N](#) [LM2902-N](#) [LM324-N](#)UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com**Device Functional Modes (continued)**

The bias network of the LM124-N establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from $3 V_{DC}$ to $30 V_{DC}$.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see [Typical Characteristics](#)) than a standard IC op amp.





www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

8 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

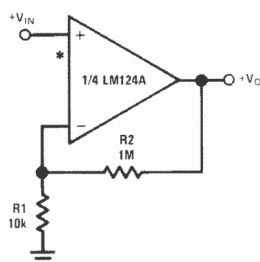
8.1 Application Information

The LM124 series of amplifiers is specified for operation from 3 V to 32 V (± 1.5 V to ± 16 V). Many of the specifications apply from -40°C to 125°C . Parameters that can exhibit significant variance with regards to operating voltage or temperature are presented in [Typical Characteristics](#).

8.2 Typical Applications

Figure 15 emphasizes operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^{+}/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

8.2.1 Non-Inverting DC Gain (0 V Input = 0 V Output)



*R not needed due to temperature independent I_{IN}

Figure 15. Non-Inverting Amplifier with $G=100$

8.2.1.1 Design Requirements

For this example application, the required signal gain is a non-inverting $100 \times \pm 5\%$ with a supply voltage of 5 V.

8.2.1.2 Detailed Design Procedure

Using the equation for a non-inverting gain configuration, $A_v = 1 + R_2/R_1$. Setting the R_1 to 10 k Ω , R_2 is 99 times larger than R_1 , which is 990 k Ω . A 1 M Ω is more readily available, and provides a gain of 101, which is within the desired specification.

The gain-frequency characteristic of the amplifier and its feedback network must be such that oscillation does not occur. To meet this condition, the phase shift through amplifier and feedback network must never exceed 180° for any frequency where the gain of the amplifier and its feedback network is greater than unity. In practical applications, the phase shift should not approach 180° since this is the situation of conditional stability. Obviously the most critical case occurs when the attenuation of the feedback network is zero.

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Typical Applications (continued)

8.2.1.3 Application Curve

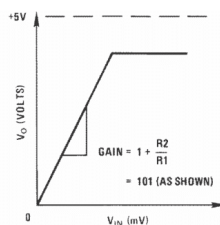


Figure 16. Non-Inverting Amplified Response Curve



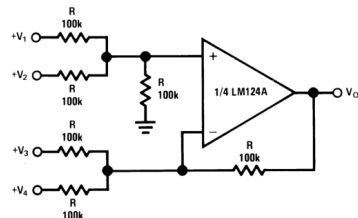
www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

Typical Applications (continued)

8.2.2 Other Application Circuits at $V^+ = 5.0 V_{DC}$



Where: $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O > 0 V_{DC}$

Figure 17. DC Summing Amplifier
 $(V_{INS} \geq 0 V_{DC}$ And $V_O \geq V_{DC}$)

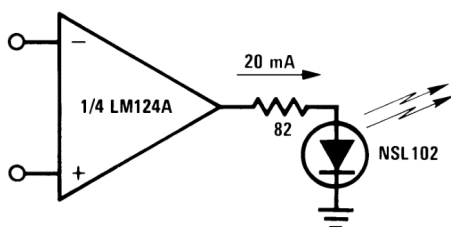
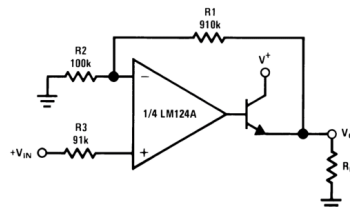
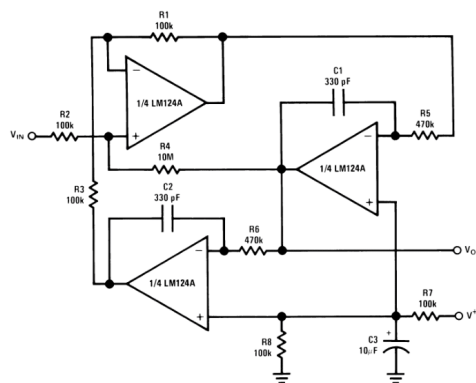


Figure 19. LED Driver



Where: $V_O = 0 V_{DC}$ for $V_{IN} = 0 V_{DC}$
 $A_V = 10$

Figure 18. Power Amplifier



$f_o = 1 \text{ kHz}$ $Q = 50$ $A_V = 100 (40 \text{ dB})$

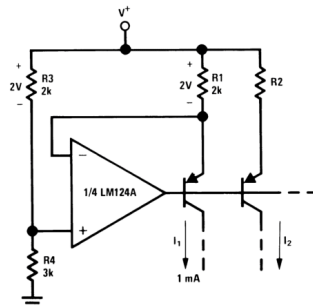
Figure 20. "BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

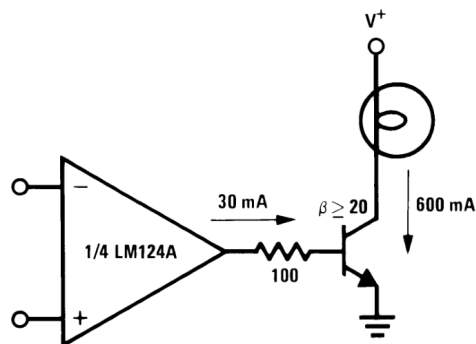
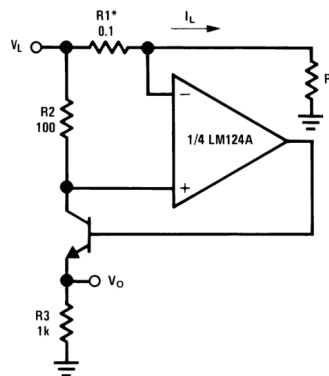
SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



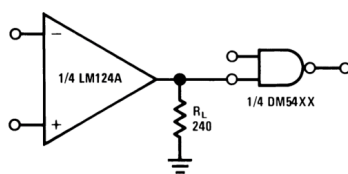
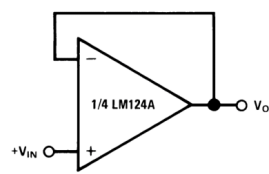
www.ti.com

Typical Applications (continued)


$$I_2 = \left(\frac{R1}{R2} \right) I_1$$

Figure 21. Fixed Current Sources

Figure 22. Lamp Driver


*(Increase R1 for IL small)

Figure 23. Current Monitor

Figure 24. Driving TTL

Figure 25. Voltage Follower



www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N
SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

Typical Applications (continued)

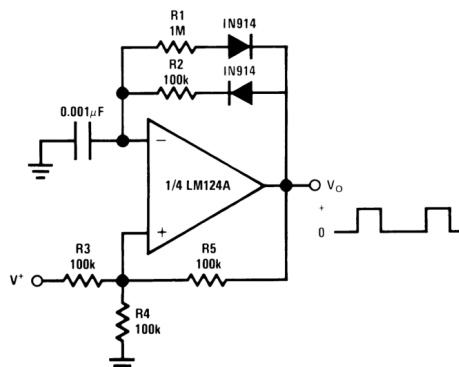


Figure 26. Pulse Generator

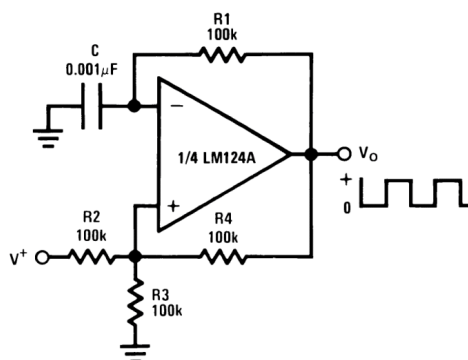


Figure 27. Squarewave Oscillator

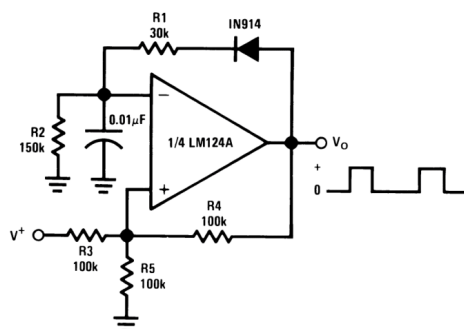
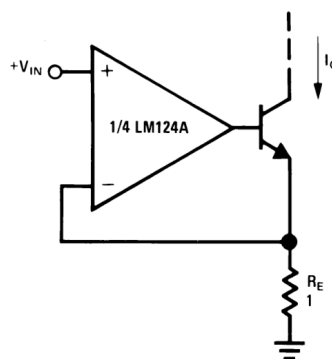


Figure 28. Pulse Generator



$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$ (Increase R_E for I_O small)

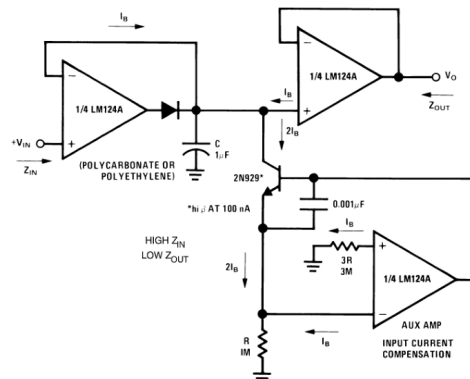
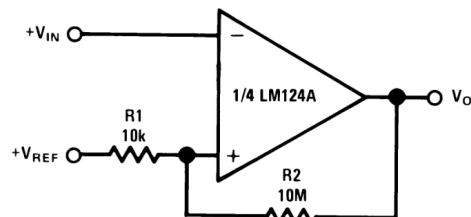
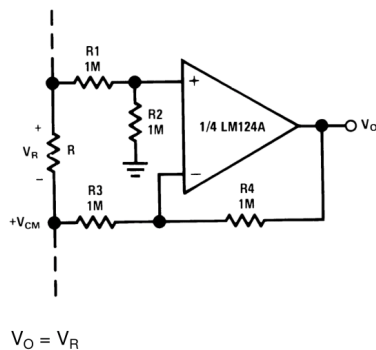
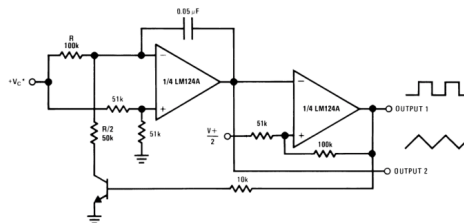
Figure 29. High Compliance Current Sink

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Typical Applications (continued)

Figure 30. Low Drift Peak Detector

Figure 31. Comparator With Hysteresis

Figure 32. Ground Referencing a Differential Input Signal


*Wide control voltage range:
 $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5 V_{DC})$

Figure 33. Voltage Controlled Oscillator Circuit

Typical Applications (continued)

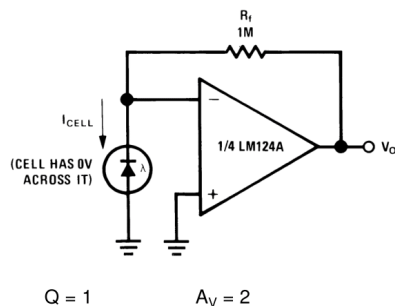


Figure 34. Photo Voltaic-Cell Amplifier

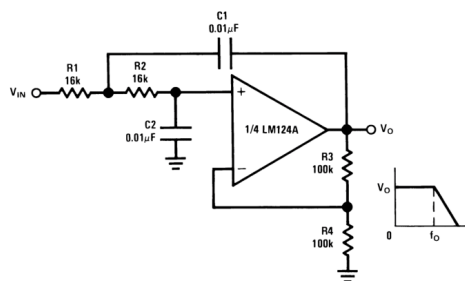


Figure 35. DC Coupled Low-Pass RC Active Filter

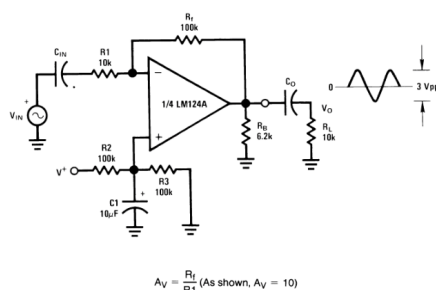


Figure 36. AC Coupled Inverting Amplifier

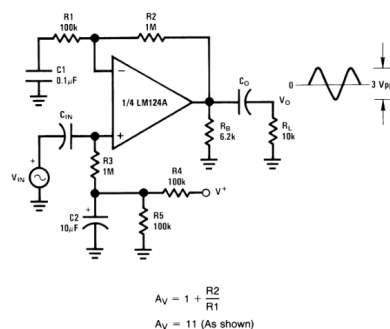


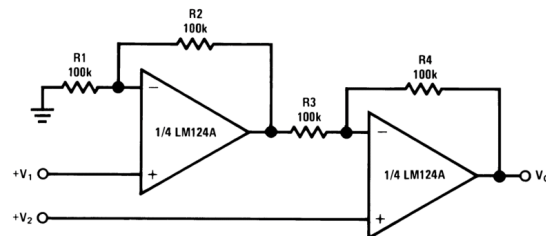
Figure 37. AC Coupled Non-Inverting Amplifier

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



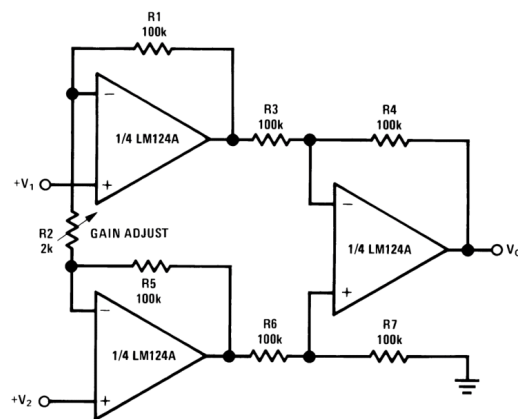
www.ti.com

Typical Applications (continued)


For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As shown: $V_O = 2(V_2 - V_1)$

Figure 38. High Input Z, DC Differential Amplifier


If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

Figure 39. High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier

Typical Applications (continued)

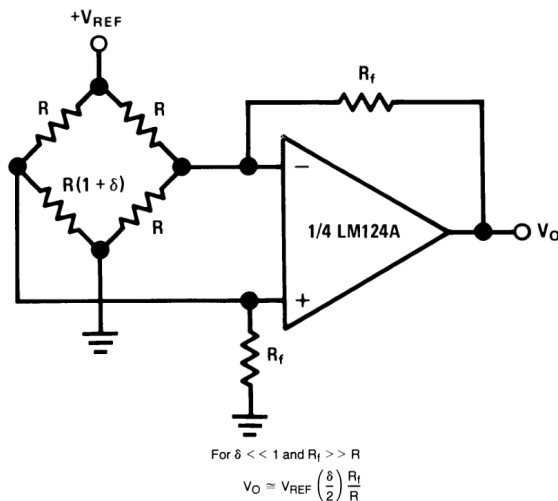


Figure 40. Bridge Current Amplifier

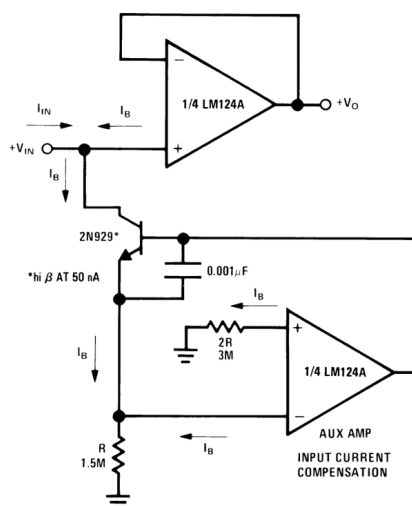


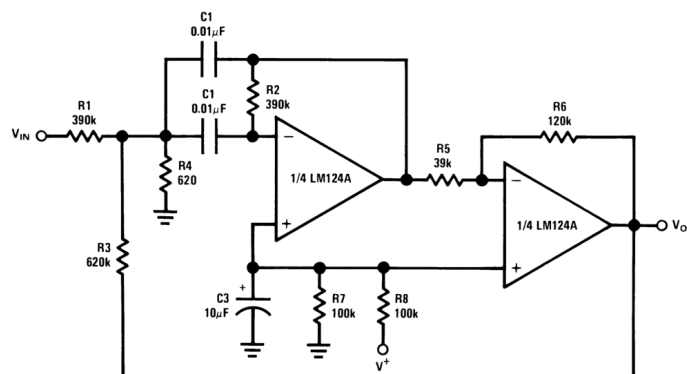
Figure 41. Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

Typical Applications (continued)


$$f_0 = 1 \text{ kHz}$$

$$Q = 25$$

Figure 42. Bandpass Active Filter



www.ti.com

LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N

SNOSC16D – MARCH 2000 – REVISED JANUARY 2015

9 Power Supply Recommendations

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

10 Layout

10.1 Layout Guidelines

The V + pin should be bypassed to ground with a low-ESR capacitor. The optimum placement is closest to the V + and ground pins.

Take care to minimize the loop area formed by the bypass capacitor connection between V + and ground.

The ground pin should be connected to the PCB ground plane at the pin of the device.

The feedback components should be placed as close to the device as possible minimizing strays.

10.2 Layout Example

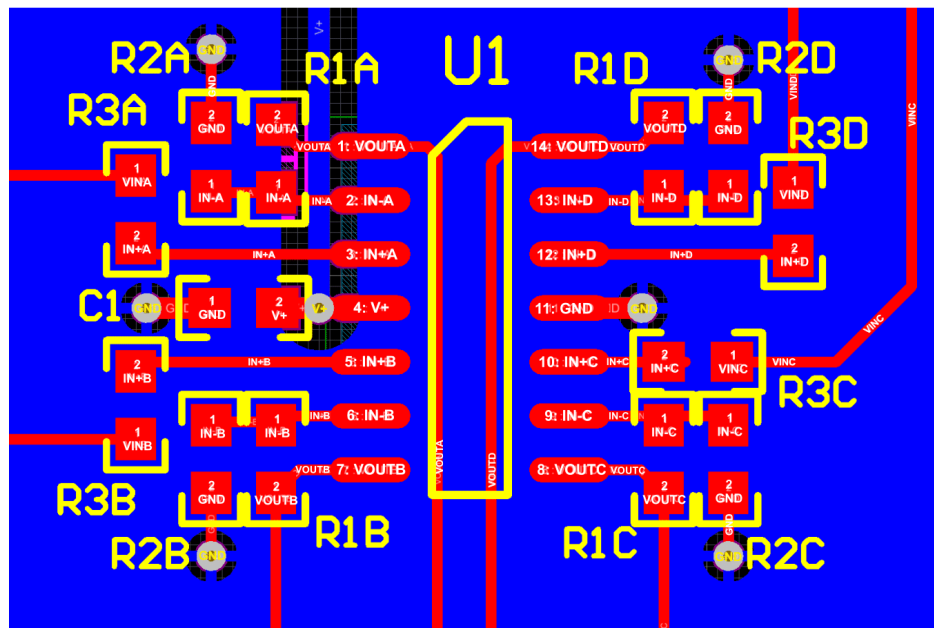


Figure 43. Layout Example

Copyright © 2000–2015, Texas Instruments Incorporated

[Submit Documentation Feedback](#)

23

Product Folder Links: [LM124-N](#) [LM224-N](#) [LM2902-N](#) [LM324-N](#)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**LM124-N, LM224-N
LM2902-N, LM324-N**

SNOSC16D—MARCH 2000—REVISED JANUARY 2015



www.ti.com

11 Device and Documentation Support

11.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

Table 1. Related Links

PARTS	PRODUCT FOLDER	SAMPLE & BUY	TECHNICAL DOCUMENTS	TOOLS & SOFTWARE	SUPPORT & COMMUNITY
LM124-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM224-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM2902-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM324-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

11.2 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

11.3 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

11.4 Glossary

[SLYZ022](#) — TI Glossary.

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.



PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
LM124AJ/PB	ACTIVE	CDIP	J	14	25	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	LM124AJ	Samples
LM124J/PB	ACTIVE	CDIP	J	14	25	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	LM124J	Samples
LM224J	ACTIVE	CDIP	J	14	25	TBD	Call TI	Call TI	-25 to 85	LM224J	Samples
LM2902M	NRND	SOIC	D	14	55	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 85	LM2902M	
LM2902M/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	55	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM2902M	Samples
LM2902MT	NRND	TSSOP	PW	14	94	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 85	LM2902MT	
LM2902MT/NOPB	ACTIVE	TSSOP	PW	14	94	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM2902MT	Samples
LM2902MTX/NOPB	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM2902MT	Samples
LM2902MX	NRND	SOIC	D	14	2500	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 85	LM2902MX	
LM2902MX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM2902MX	Samples
LM2902N/NOPB	ACTIVE	PDIP	NFF	14	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 85	LM2902N	Samples
LM324AM	NRND	SOIC	D	14	55	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	LM324AM	
LM324AM/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	55	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324AM	Samples
LM324AMX	NRND	SOIC	D	14	2500	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	LM324AMX	
LM324AMX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324AMX	Samples
LM324AN/NOPB	ACTIVE	PDIP	NFF	14	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	LM324AN	Samples
LM324M	NRND	SOIC	D	14	55	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	LM324M	
LM324M/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	55	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324M	Samples
LM324MT/NOPB	ACTIVE	TSSOP	PW	14	94	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324MT	Samples
LM324MTX/NOPB	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324MT	Samples

Addendum-Page 1

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
LM324MX	NRND	SOIC	D	14	2500	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	LM324M	
LM324MX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM324M	Samples
LM324N/NOPB	ACTIVE	PDIP	NFF	14	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	LM324N	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.**OBsolete:** TI has discontinued the production of the device.(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".**RoHS Exempt:** TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.**Green:** TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

Addendum-Page 2



www.ti.com

PACKAGE OPTION ADDENDUM

26-Sep-2017

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LM124-N, LM2902-N :

- Automotive: [LM2902-Q1](#)
- Enhanced Product: [LM2902-EP](#)
- Space: [LM124-SP](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

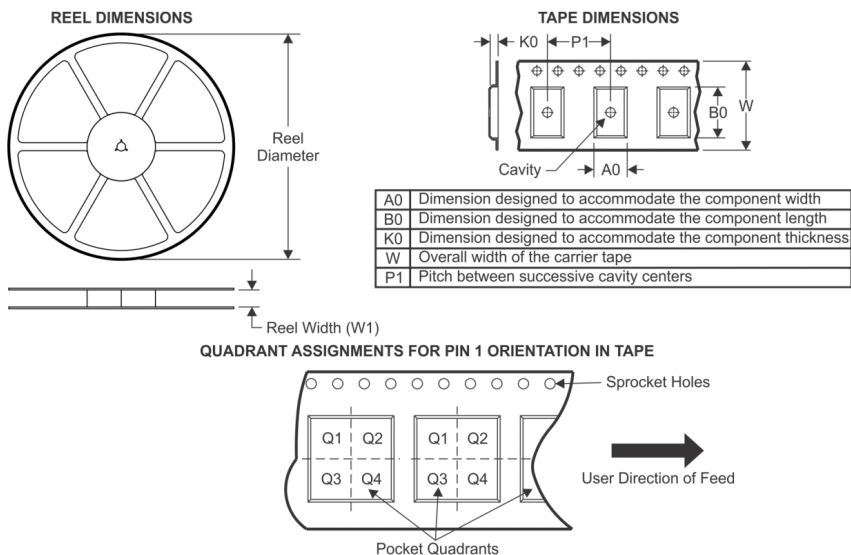
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects
- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications
- Space - Radiation tolerant, ceramic packaging and qualified for use in Space-based application

Addendum-Page 3



PACKAGE MATERIALS INFORMATION

TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM2902MTX/NOPB	TSSOP	PW	14	2500	330.0	12.4	6.95	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2902MX	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.35	2.3	8.0	16.0	Q1
LM2902MX/NOPB	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.35	2.3	8.0	16.0	Q1
LM324AMX	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.35	2.3	8.0	16.0	Q1
LM324MTX/NOPB	TSSOP	PW	14	2500	330.0	12.4	6.95	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM324MX	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.35	2.3	8.0	16.0	Q1
LM324MX/NOPB	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.35	2.3	8.0	16.0	Q1

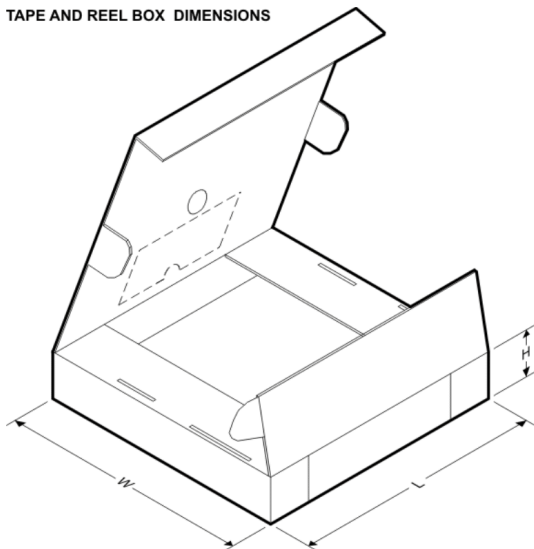


PACKAGE MATERIALS INFORMATION

www.ti.com

24-Aug-2017

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

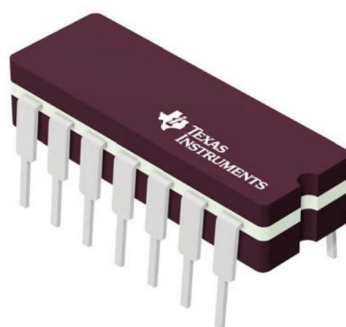


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM2902MTX/NOPB	TSSOP	PW	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM2902MX	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM2902MX/NOPB	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM324AMX	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM324AMX/NOPB	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM324MTX/NOPB	TSSOP	PW	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM324MX	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0
LM324MX/NOPB	SOIC	D	14	2500	367.0	367.0	35.0

J 14

GENERIC PACKAGE VIEW
CDIP - 5.08 mm max height
CERAMIC DUAL IN LINE PACKAGE



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

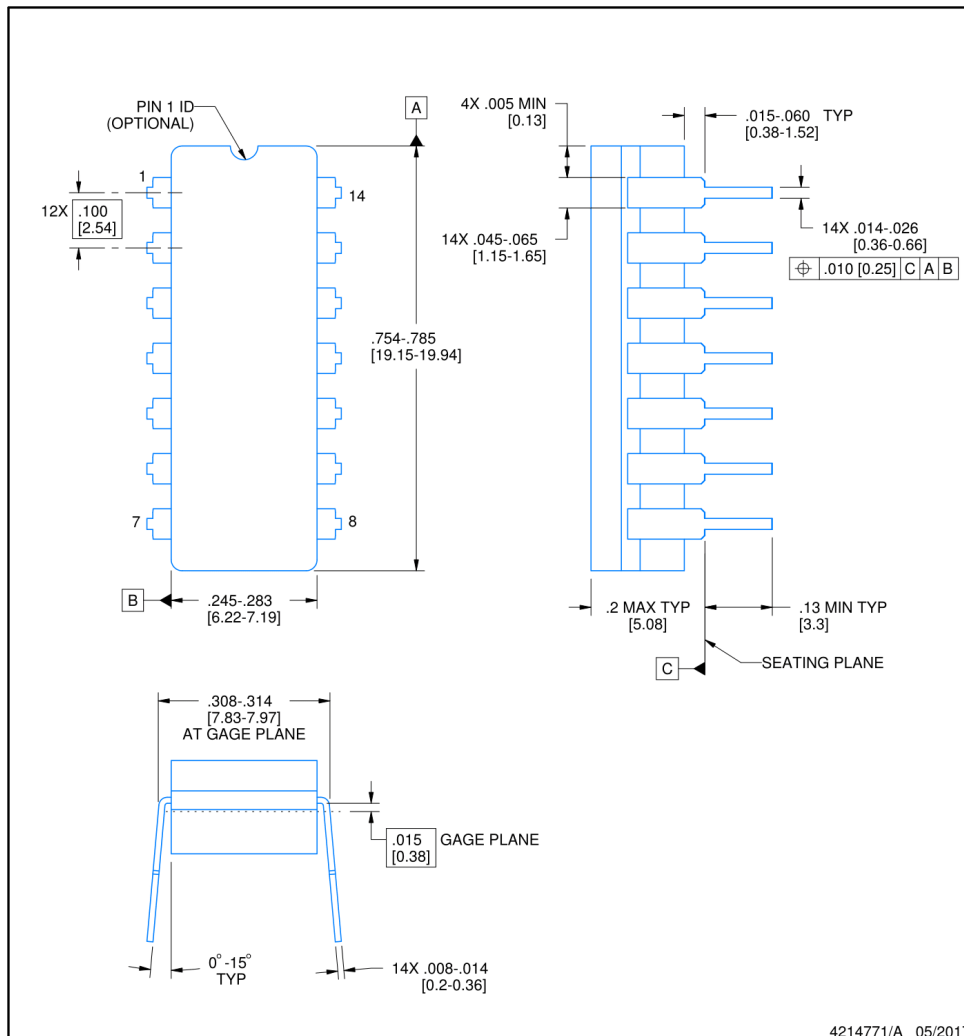
4040083-5/G



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

J0014A**PACKAGE OUTLINE****CDIP - 5.08 mm max height**

CERAMIC DUAL IN LINE PACKAGE

**NOTES:**

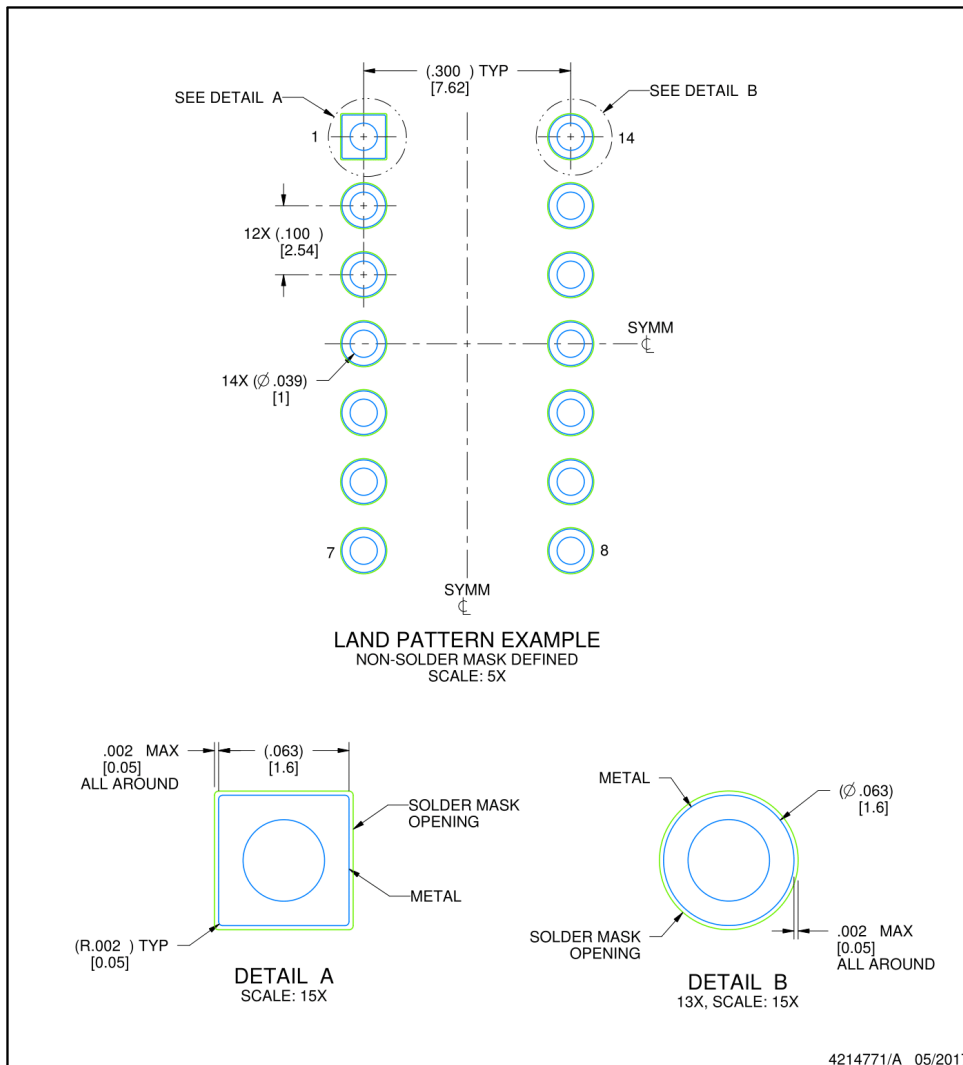
1. All controlling linear dimensions are in inches. Dimensions in brackets are in millimeters. Any dimension in brackets or parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
4. Index point is provided on cap for terminal identification only and on press ceramic glass frit seal only.
5. Falls within MIL-STD-1835 and GDIP1-T14.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

J0014A

CDIP - 5.08 mm max height

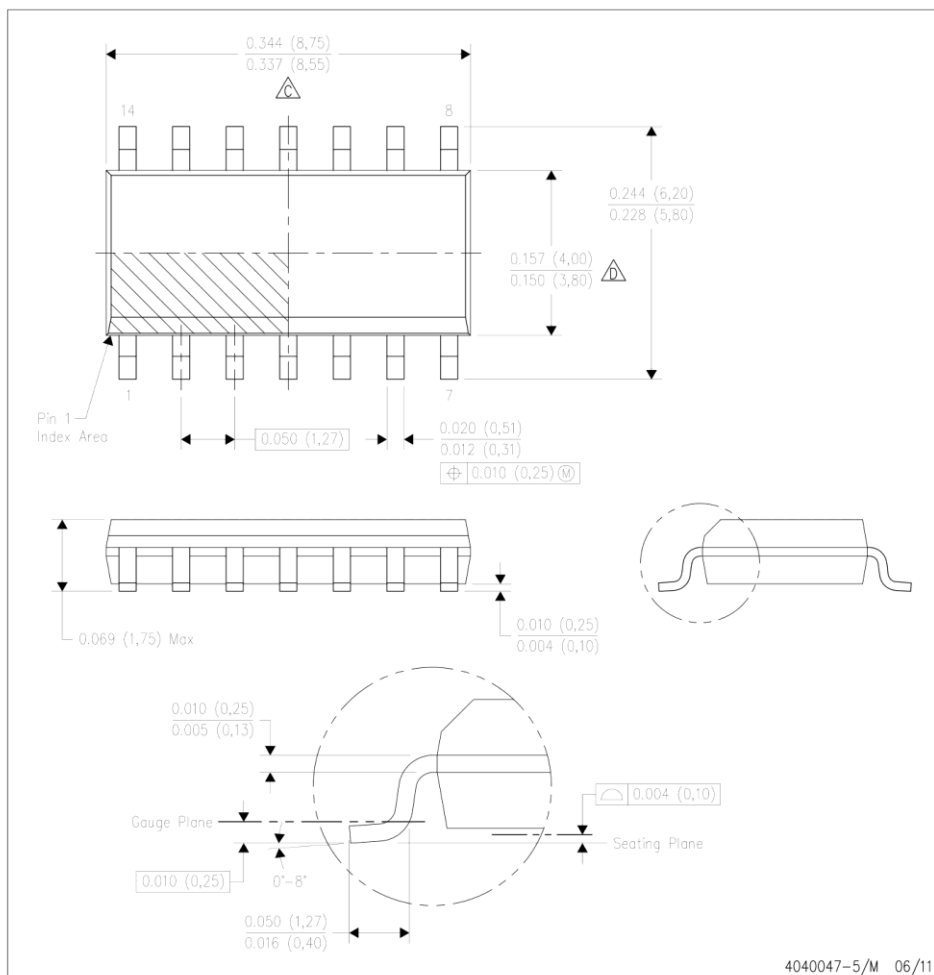
CERAMIC DUAL IN LINE PACKAGE



MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL OUTLINE

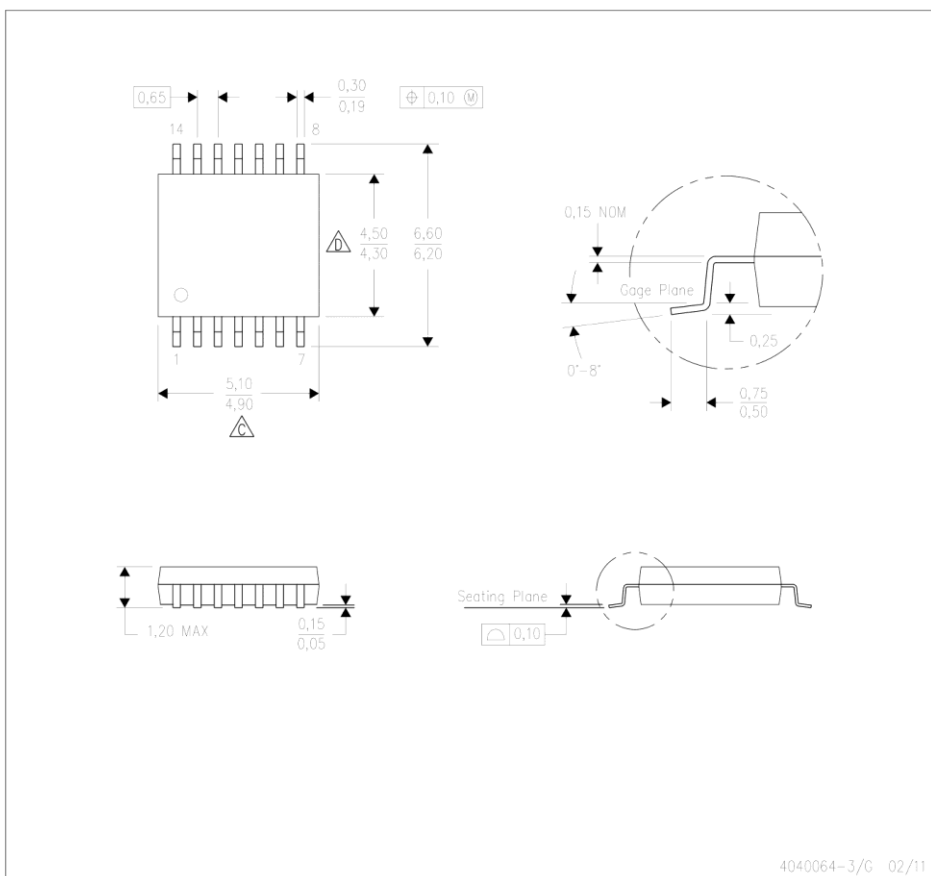


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
 - D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AB.

MECHANICAL DATA

PW (R-PDSO-G14)

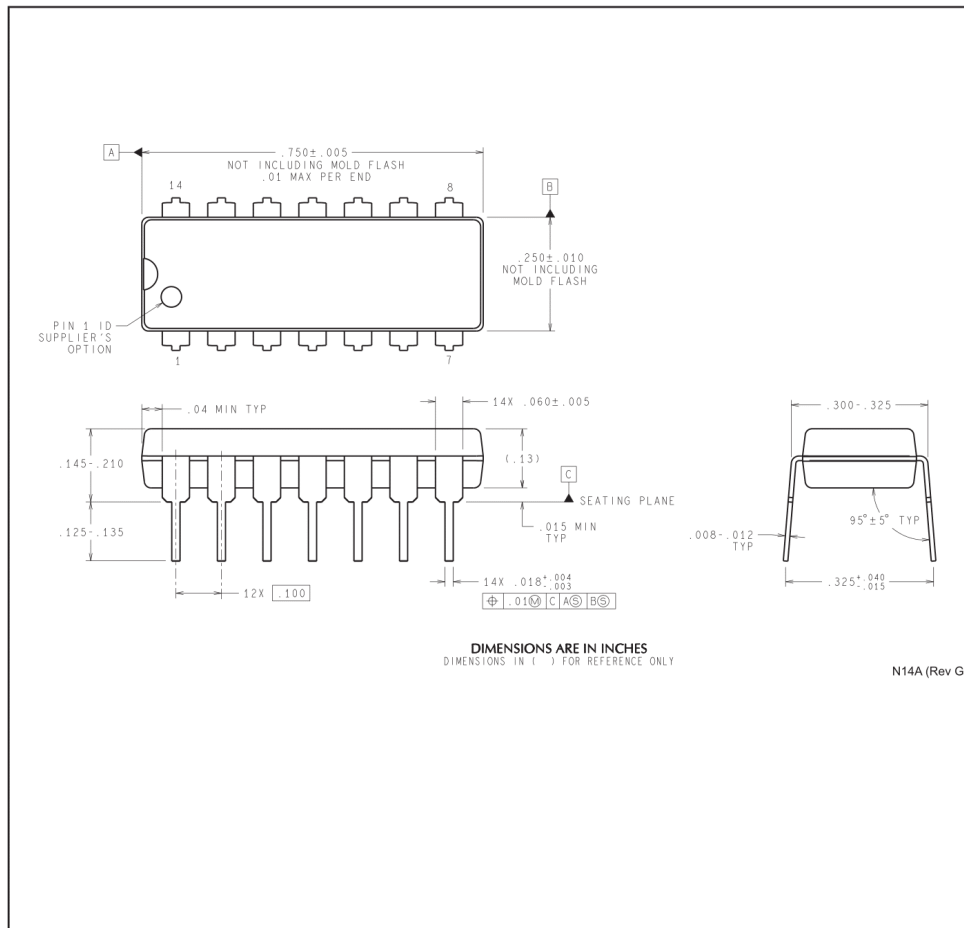
PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0,15 each side.
D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0,25 each side.
E. Falls within JEDEC MO-153

MECHANICAL DATA

NFF0014A



IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated (TI) reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete.

TI's published terms of sale for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>) apply to the sale of packaged integrated circuit products that TI has qualified and released to market. Additional terms may apply to the use or sale of other types of TI products and services.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such reproduced documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions. Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyers and others who are developing systems that incorporate TI products (collectively, "Designers") understand and agree that Designers remain responsible for using their independent analysis, evaluation and judgment in designing their applications and that Designers have full and exclusive responsibility to assure the safety of Designers' applications and compliance of their applications (and of all TI products used in or for Designers' applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. Designer represents that, with respect to their applications, Designer has all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. Designer agrees that prior to using or distributing any applications that include TI products, Designer will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications.

TI's provision of technical, application or other design advice, quality characterization, reliability data or other services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using TI Resources in any way, Designer (individually or, if Designer is acting on behalf of a company, Designer's company) agrees to use any particular TI Resource solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

Designer is authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS. TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY DESIGNER AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Unless TI has explicitly designated an individual product as meeting the requirements of a particular industry standard (e.g., ISO/TS 16949 and ISO 26262), TI is not responsible for any failure to meet such industry standard requirements.

Where TI specifically promotes products as facilitating functional safety or as compliant with industry functional safety standards, such products are intended to help enable customers to design and create their own applications that meet applicable functional safety standards and requirements. Using products in an application does not by itself establish any safety features in the application. Designers must ensure compliance with safety-related requirements and standards applicable to their applications. Designer may not use any TI products in life-critical medical equipment unless authorized officers of the parties have executed a special contract specifically governing such use. Life-critical medical equipment is medical equipment where failure of such equipment would cause serious bodily injury or death (e.g., life support, pacemakers, defibrillators, heart pumps, neurostimulators, and implantables). Such equipment includes, without limitation, all medical devices identified by the U.S. Food and Drug Administration as Class III devices and equivalent classifications outside the U.S.

TI may expressly designate certain products as completing a particular qualification (e.g., Q100, Military Grade, or Enhanced Product). Designers agree that it has the necessary expertise to select the product with the appropriate qualification designation for their applications and that proper product selection is at Designers' own risk. Designers are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such selection.

Designer will fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of Designer's non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

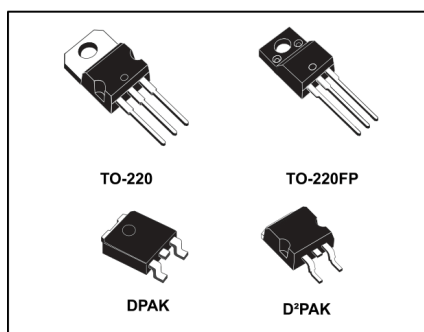


B2. Regulador de tensió L7805CV


L78

Positive voltage regulator ICs

Datasheet - production data



Description

The L78 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type embeds internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

November 2016

DocID2143 Rev 34

1/54

This is information on a product in full production.

www.st.com

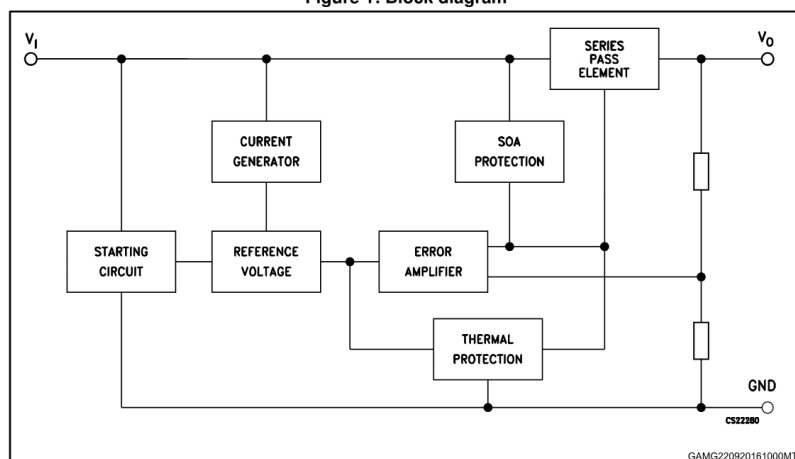
Contents	L78
Contents	
1 Diagram.....	3
2 Pin configuration.....	4
3 Maximum ratings.....	5
4 Test circuits.....	6
5 Electrical characteristics.....	7
6 Application information.....	23
6.1 Design consideration.....	23
7 Typical performance.....	31
8 Package information.....	33
8.1 TO-220 (dual gauge) package information.....	34
8.2 TO-220 (single gauge) package information.....	36
8.3 TO-220FP package information.....	38
8.4 TO-220 packing information.....	40
8.5 DPAK package information.....	41
8.6 D ² PAK (SMD 2L STD-ST) type A package information.....	44
8.7 D ² PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) package information.....	46
8.8 D ² PAK and DPAK packing information.....	49
9 Ordering information.....	52
10 Revision history.....	53

L78

Diagram

1 Diagram

Figure 1: Block diagram



2 Pin configuration

Figure 2: Pin connections (top view)

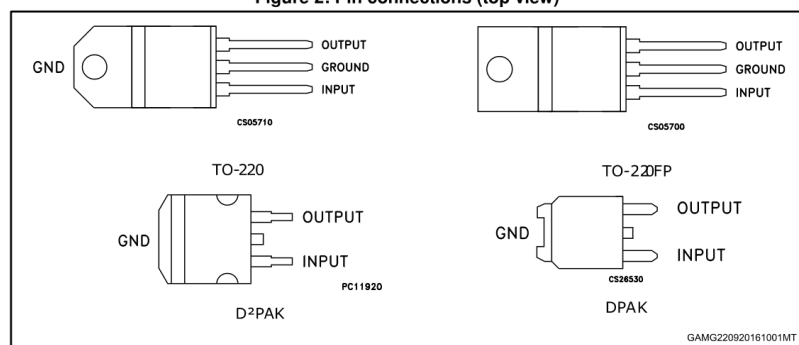
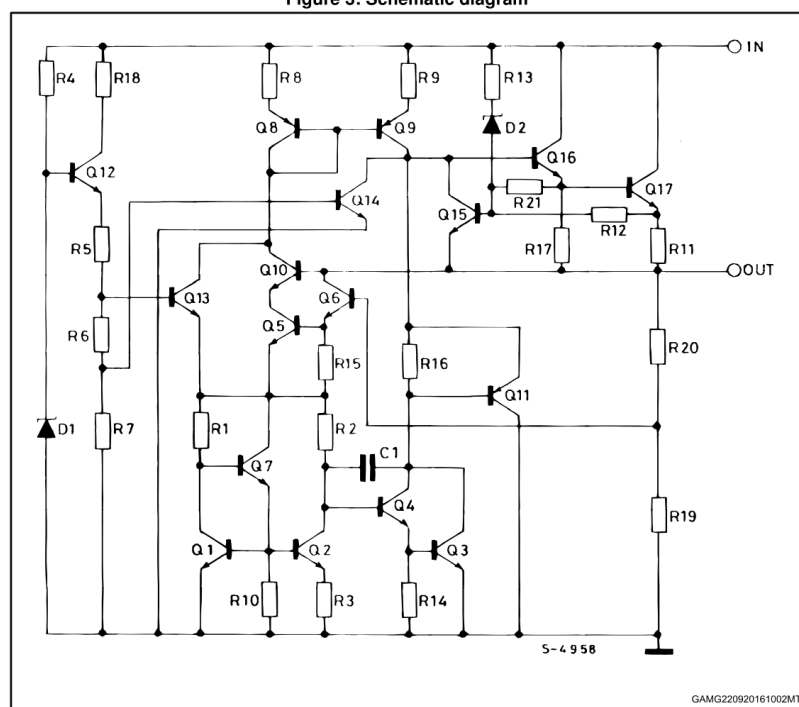


Figure 3: Schematic diagram



3 Maximum ratings

Table 1: Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = 5$ to 18 V	35	V
		for $V_O = 20, 24$ V	40	
I_O	Output current		Internally limited	
P_D	Power dissipation		Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range		-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L78xxC, L78xxAC	0 to 125	°C
		for L78xxAB	-40 to 125	

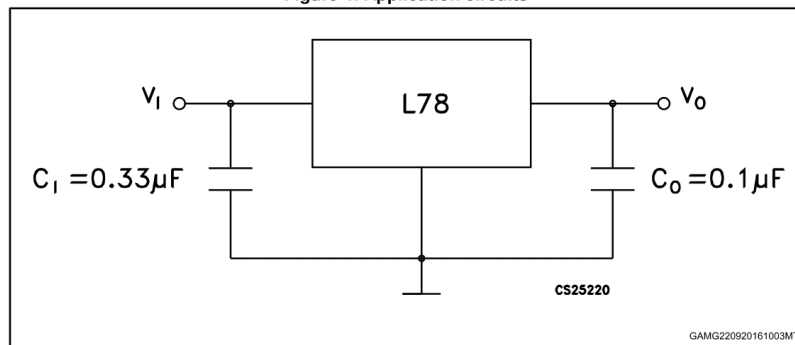


Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal data

Symbol	Parameter	D ² PAK	DPAK	TO-220	TO-220FP	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	8	5	5	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	100	50	60	°C/W

Figure 4: Application circuits



4 Test circuits

Figure 5: DC parameter

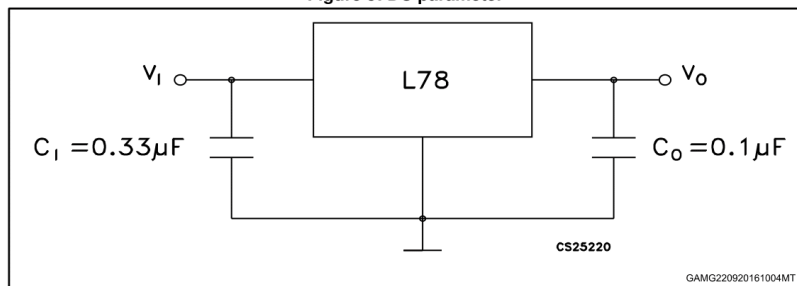


Figure 6: Load regulation

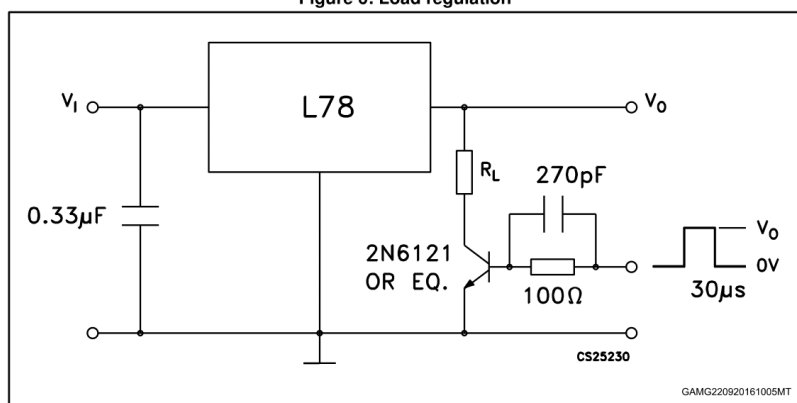
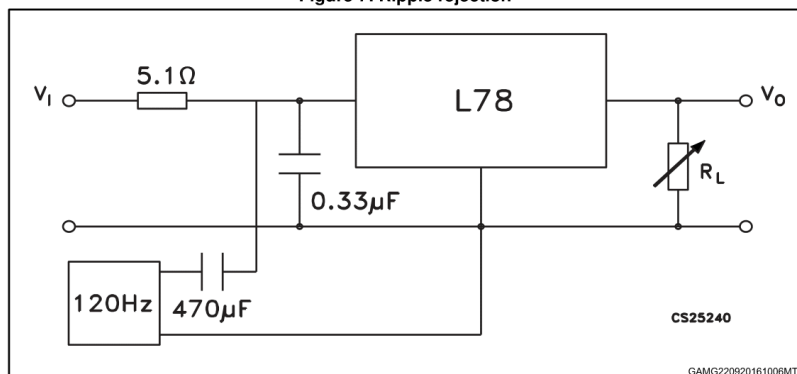


Figure 7: Ripple rejection



5 Electrical characteristics

$V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7805AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7805AB), unless otherwise specified^a

Table 3: Electrical characteristics of L7805A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	4.9	5	5.1	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 7.5\text{ to }18\text{ V}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 18\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	4.8	5	5.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7.5\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		7	50	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$		10	50	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2	25	mV
		$V_I = 7.3\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		7	50	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		8	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 8\text{ to }23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 7.5\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		68		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1.1		$\text{mV}/\text{°C}$

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics

L78

 $V_I = 11\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7806AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7806AB), unless otherwise specified^a

Table 4: Electrical characteristics of L7806A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	5.88	6	6.12	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 8.6\text{ to }19\text{ V}$	5.76	6	6.24	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 19\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	5.76	6	6.24	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 8.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		9	60	mV
		$V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$		11	60	mV
		$V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		3	30	mV
		$V_I = 8.3\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		9	60	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 9\text{ to }24\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 8.6\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9\text{ to }19\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		65		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		mV/°C

Notes:

⁽¹⁾Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

$V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7808AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7808AB), unless otherwise specified^a

Table 5: Electrical characteristics of L7808A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	7.84	8	8.16	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.6\text{ to }21\text{ V}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	7.7	8	8.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		12	80	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$		15	80	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		5	40	mV
		$V_I = 10.4\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		12	80	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 11\text{ to }23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 10.6\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		62		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		$\text{mV}/\text{°C}$

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.



Electrical characteristics
L78
 $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7809AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7809AB), unless otherwise specified^a
Table 6: Electrical characteristics of L7809A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	8.82	9	9.18	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.6\text{ to }22\text{ V}$	8.65	9	9.35	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 22\text{ to }24\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	8.65	9	9.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		12	90	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$		15	90	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		5	45	mV
		$V_I = 11.4\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		12	90	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 10.6\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		61		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		mV/°C

Notes:
⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

$V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7812AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7812AB), unless otherwise specified^a

Table 7: Electrical characteristics of L7812A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	11.75	12	12.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 14.8\text{ to }25\text{ V}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 25\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	11.5	12	12.5	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.8\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	120	mV
		$V_I = 16\text{ to }12\text{ V}$		16	120	mV
		$V_I = 16\text{ to }12\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		6	60	mV
		$V_I = 14.5\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	120	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.4	6	mA
					6	mA
DI_q	Quiescent current change	$V_I = 15\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 14.8\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1		$\text{mV}/\text{°C}$

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.



Electrical characteristics

L78

$V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7815AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7815AB), unless otherwise specified^a

Table 8: Electrical characteristics of L7815A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	14.7	15	15.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 17.9\text{ to }28\text{ V}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 28\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	14.4	15	15.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 17.9\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	150	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$		16	150	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		6	75	mV
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	150	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.4	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		58		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1		mV/°C

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

$V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7824AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7824AB), unless otherwise specified^a

Table 9: Electrical characteristics of L7824A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	23.5	24	24.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 27.3\text{ to }37\text{ V}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 37\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	23	24	25	V
ΔV_O ⁽¹⁾	Line regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		31	240	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$		35	200	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		14	120	mV
		$V_I = 26.7\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		31	240	mV
ΔV_O ⁽¹⁾	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.6	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 27.3\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 27.3\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		54		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		20		m
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1.5		$\text{mV}/\text{°C}$

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics
L78

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^\circ\text{C}$, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 10: Electrical characteristics of L7805C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 7$ to 18 V	4.75	5	5.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 18$ to 20 V , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25 V , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		3	100	mV
		$V_I = 8$ to 12 V , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		1	50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 7$ to 23 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18 V , $f = 120\text{ Hz}$	62			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.75		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 11\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 11: Electrical characteristics of L7806C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	5.75	6	6.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 8$ to 19 V	5.7	6	6.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 19$ to 21 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	5.7	6	6.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 8$ to 25 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			120	mV
		$V_I = 9$ to 13 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
DI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 8$ to 24 V			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		45		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9$ to 19 V , $f = 120\text{ Hz}$	59			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.55		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics
L78

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 12: Electrical characteristics of L7808C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 10.5$ to 21 V	7.6	8	8.4	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21$ to 25 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.5$ to 25 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11$ to 17 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 10.5$ to 25 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		52		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5$ to 21.5 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 14.5\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$,
 $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 13: Electrical characteristics of L7885C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	8.2	8.5	8.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 11$ to 21.5 V	8.1	8.5	8.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21.5$ to 26 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	8.1	8.5	8.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11$ to 27 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11.5$ to 17.5 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 11$ to 26 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		55		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12$ to 22 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics
L78

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 14: Electrical characteristics of L7809C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	8.64	9	9.36	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 11.5$ to 22 V	8.55	9	9.45	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 22$ to 26 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	8.55	9	9.45	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11.5$ to 26 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			180	mV
		$V_I = 12$ to 18 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			90	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			180	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			90	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 11.5$ to 26 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		70		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12$ to 23 V , $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.40		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 15: Electrical characteristics of L7812C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 14.5$ to 25 V	11.4	12	12.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 25$ to 27 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			240	mV
		$V_I = 16$ to 22 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 14.5$ to 30 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		75		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15$ to 25 V , $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.35		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics

L78

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 16: Electrical characteristics of L7815C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 17.5$ to 28 V	14.25	15	15.75	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 28$ to 30 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 17.5$ to 30 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			300	mV
		$V_I = 20$ to 26 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 17.5$ to 30 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		90		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5$ to 28.5 V , $f = 120\text{ Hz}$	54			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.23		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

L78**Electrical characteristics**

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 26\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 17: Electrical characteristics of L7818C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	17.3	18	18.7	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 21\text{ to }31\text{ V}$	17.1	18	18.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 31\text{ to }33\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			360	mV
		$V_I = 24\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			180	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			360	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			180	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		110		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 22\text{ to }32\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	53			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		22		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.20		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.1		A

Notes:

⁽¹⁾ Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

Electrical characteristics
L78

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^a

Table 18: Electrical characteristics of L7824C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A , $V_I = 27$ to 37 V	22.8	24	25.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 37$ to 38 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 27$ to 38 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			480	mV
		$V_I = 30$ to 36 V , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			240	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1.5 A , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			480	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			240	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA}$ to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 27$ to 38 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.5		mV/ $^{\circ}\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		170		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28$ to 38 V , $f = 120\text{ Hz}$	50			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		28		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.15		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.1		A

Notes:

⁽¹⁾Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

^a Minimum load current for regulation is 5 mA.

6 Application information

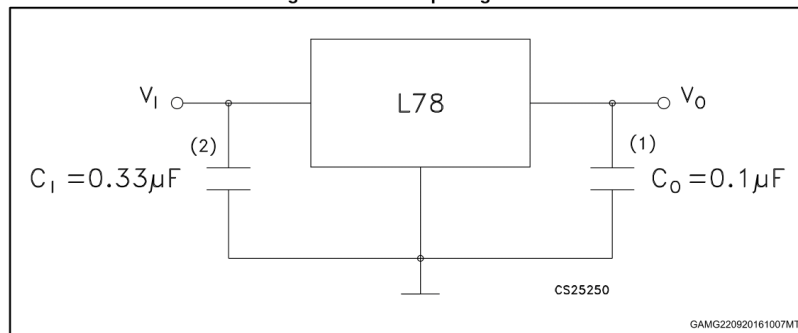
6.1 Design consideration

The L78 Series of fixed voltage regulators are designed with thermal overload protection that shuts down the circuit when subjected to an excessive power overload condition, internal short-circuit protection that limits the maximum current the circuit will pass, and output transistor safe-area compensation that reduces the output short-circuit current as the voltage across the pass transistor is increased. In many low current applications, compensation capacitors are not required. However, it is recommended that the regulator input be bypassed with capacitor if the regulator is connected to the power supply filter with long lengths, or if the output load capacitance is large. An input bypass capacitor should be selected to provide good high frequency characteristics to insure stable operation under all load conditions. A $0.33\ \mu\text{F}$ or larger tantalum, mylar or other capacitor having low internal impedance at high frequencies should be chosen. The bypass capacitor should be mounted with the shortest possible leads directly across the regulators input terminals. Normally good construction techniques should be used to minimize ground loops and lead resistance drops since the regulator has no external sense lead.

The addition of an operational amplifier allows adjustment to higher or intermediate values while retaining regulation characteristics. The minimum voltage obtained with the arrangement is 2 V greater than the regulator voltage.

The circuit of [Figure 13: "High current voltage regulator"](#) can be modified to provide supply protection against short circuit by adding a short circuit sense resistor, RSC, and an additional PNP transistor. The current sensing PNP must be able to handle the short circuit current of the three terminal regulator. Therefore a four ampere plastic power transistor is specified.

Figure 8: Fixed output regulator



1. Although no output capacitor is need for stability, it does improve transient response.
2. Required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

Figure 9: Current regulator

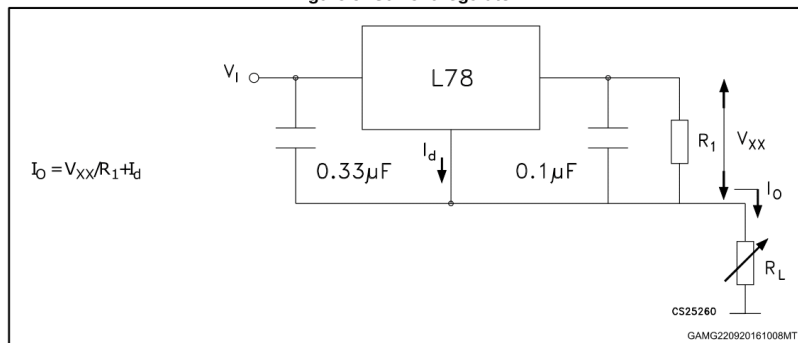


Figure 10: Circuit for increasing output voltage

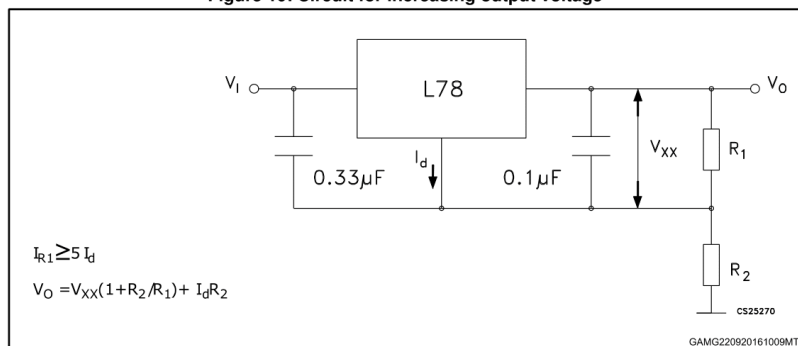
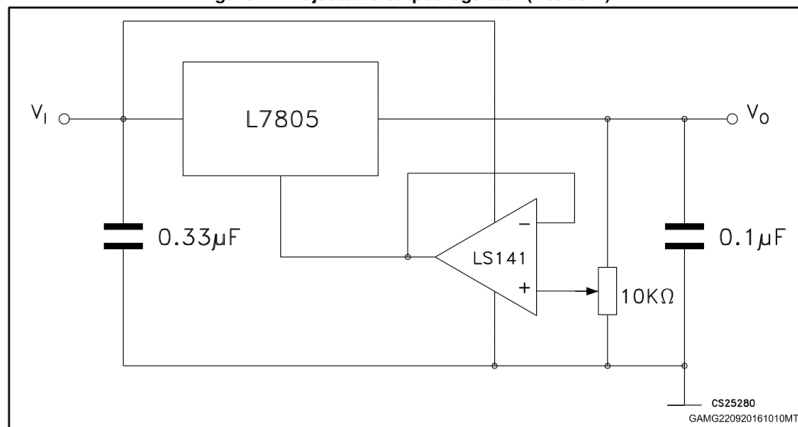


Figure 11: Adjustable output regulator (7 to 30 V)



L78

Application information

Figure 12: 0.5 to 10 V regulator

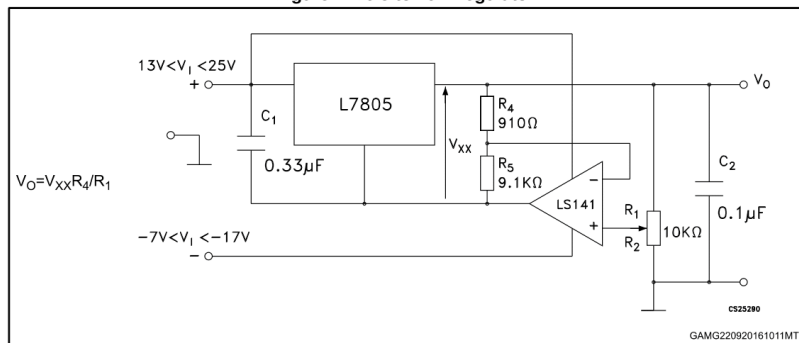


Figure 13: High current voltage regulator

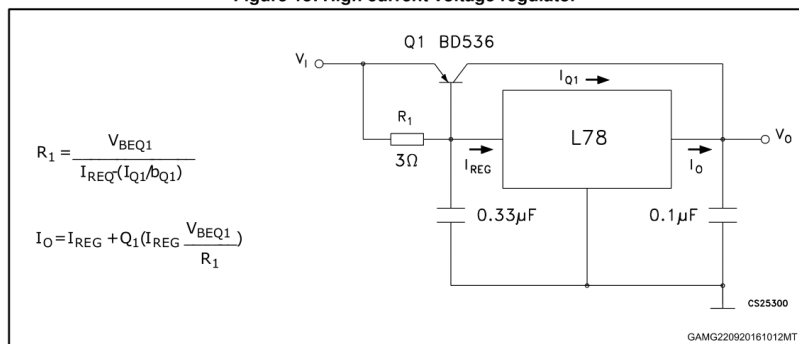
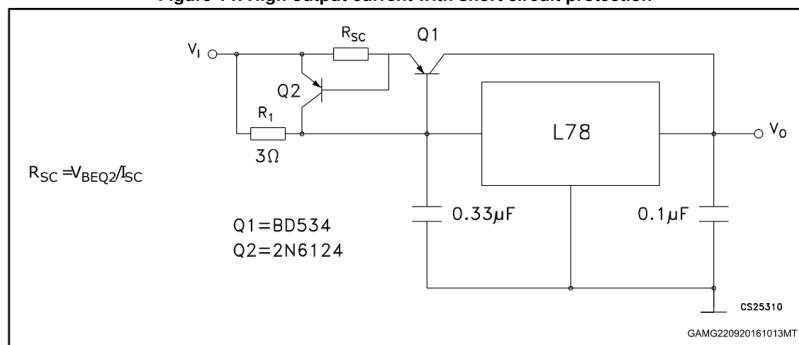


Figure 14: High output current with short circuit protection



Application information

L78

Figure 15: Tracking voltage regulator

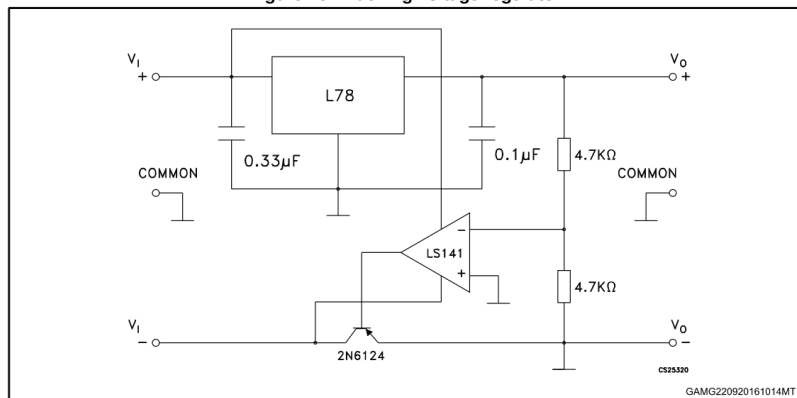
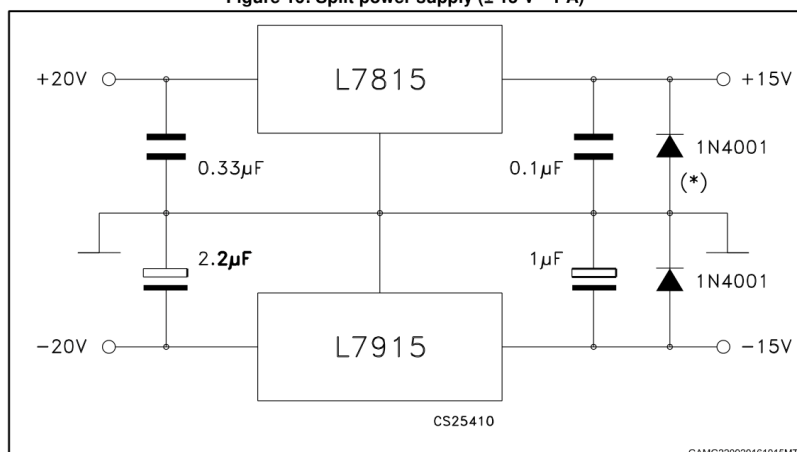


Figure 16: Split power supply ($\pm 15\text{ V} - 1\text{ A}$)



* Against potential latch-up problems.

L78

Application information

Figure 17: Negative output voltage circuit

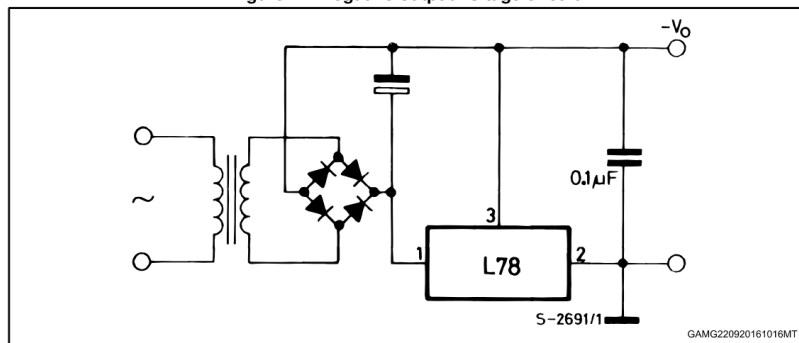


Figure 18: Switching regulator

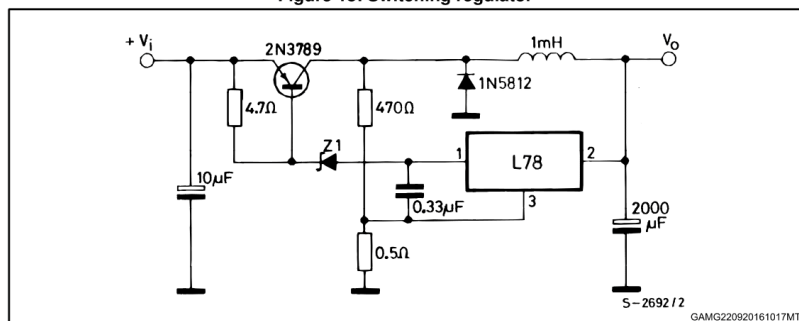
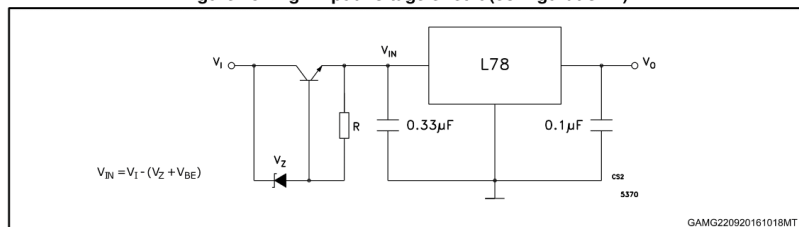


Figure 19: High input voltage circuit (configuration 1)



Application information

L78

Figure 20: High input voltage circuit (configuration 2)

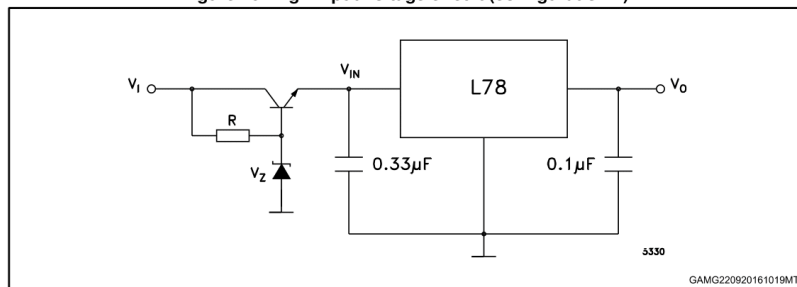


Figure 21: High input and output voltage

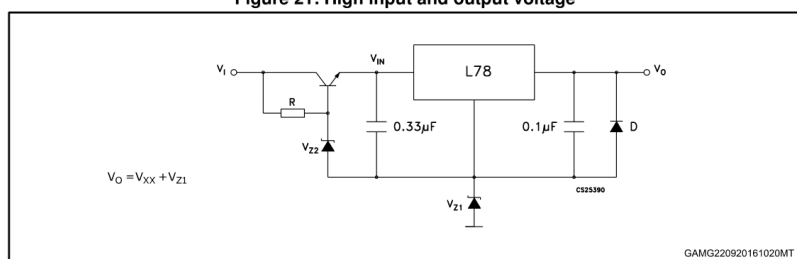
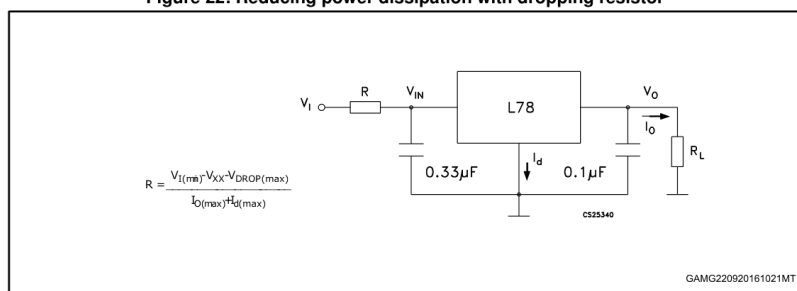


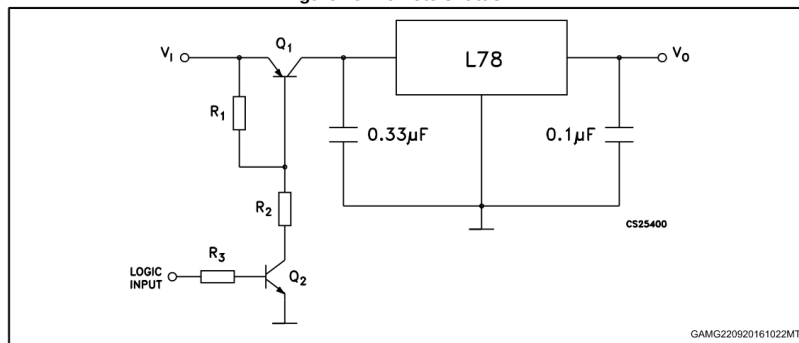
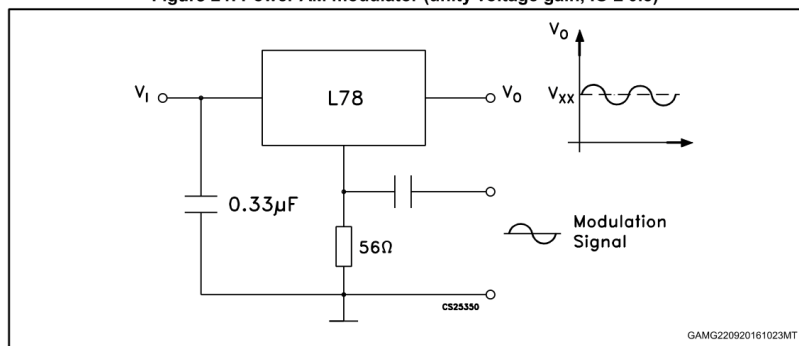
Figure 22: Reducing power dissipation with dropping resistor



L78

Application information

Figure 23: Remote shutdown

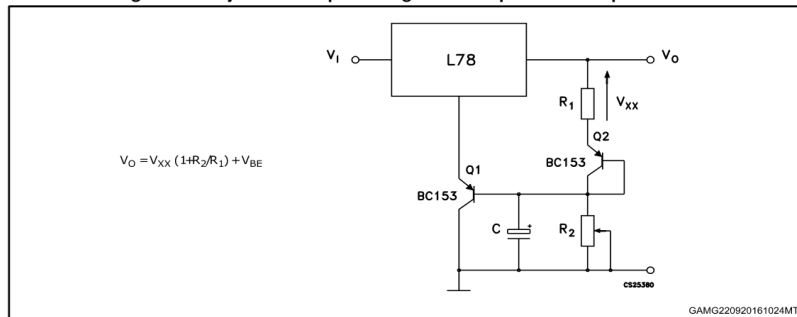
Figure 24: Power AM modulator (unity voltage gain, $IO \leq 0.5$)

The circuit performs well up to 100 kHz.

Application information

L78

Figure 25: Adjustable output voltage with temperature compensation



Q₂ is connected as a diode in order to compensate the variation of the Q₁ V_{BE} with the temperature. C allows a slow rise time of the V_O.

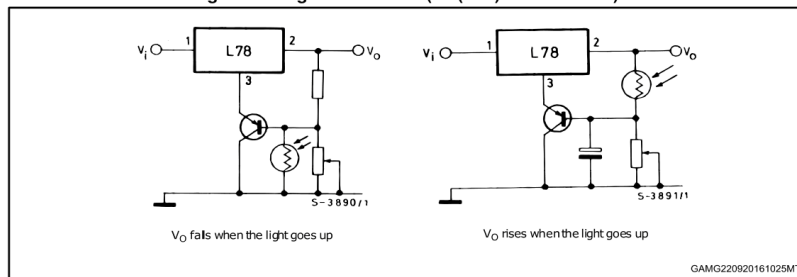
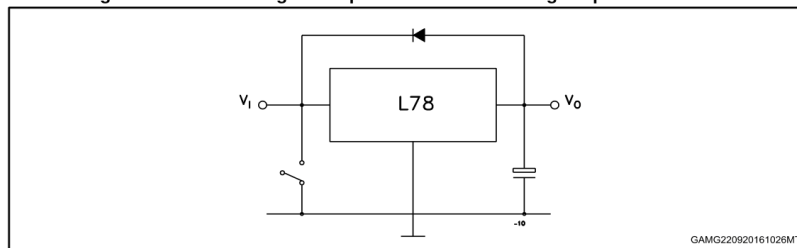
 Figure 26: Light controllers (V_{O(min)} = V_{XX} + V_{BE})


Figure 27: Protection against input short-circuit with high capacitance loads



Application with high capacitance loads and an output voltage greater than 6 volts need an external diode (see [Figure 22: "Reducing power dissipation with dropping resistor"](#)) to protect the device against input short circuit. In this case the input voltage falls rapidly while the output voltage decrease slowly. The capacitance discharges by means of the base-emitter junction of the series pass transistor in the regulator. If the energy is sufficiently high, the transistor may be destroyed. The external diode by-passes the current from the IC to ground.

L78

Typical performance

7 Typical performance

Figure 28: Dropout voltage vs junction temperature

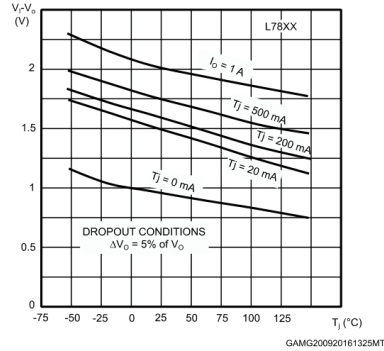


Figure 29: Peak output current vs input/output differential voltage

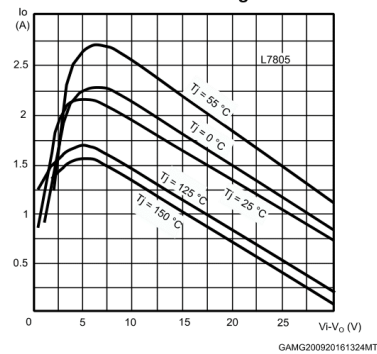


Figure 30: Supply voltage rejection vs frequency

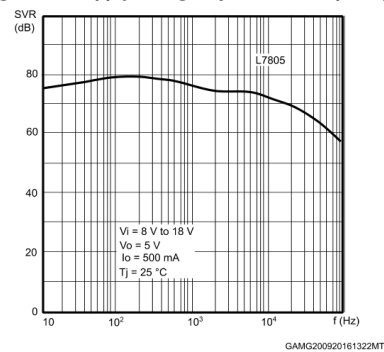
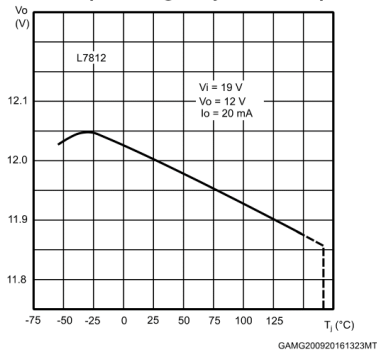


Figure 31: Output voltage vs junction temperature



Typical performance

L78

Figure 32: Output impedance vs frequency

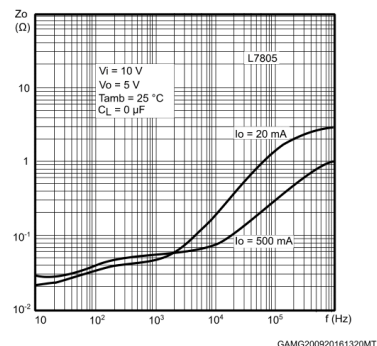


Figure 33: Quiescent current vs junction temp.

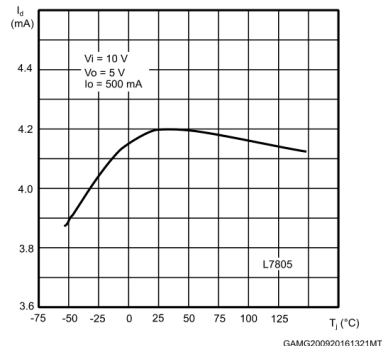


Figure 34: Load transient response

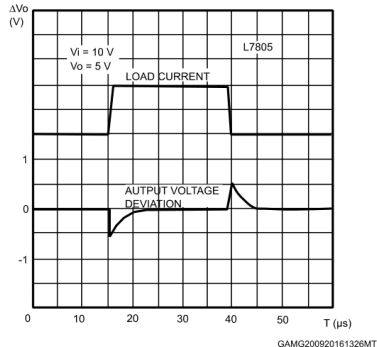


Figure 35: Line transient response

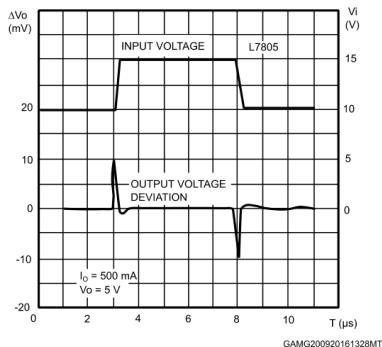
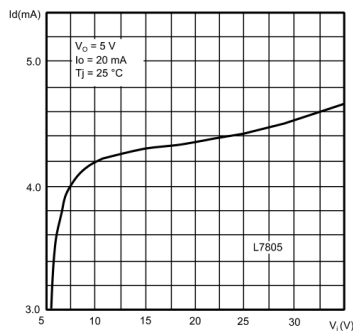


Figure 36: Quiescent current vs. input voltage



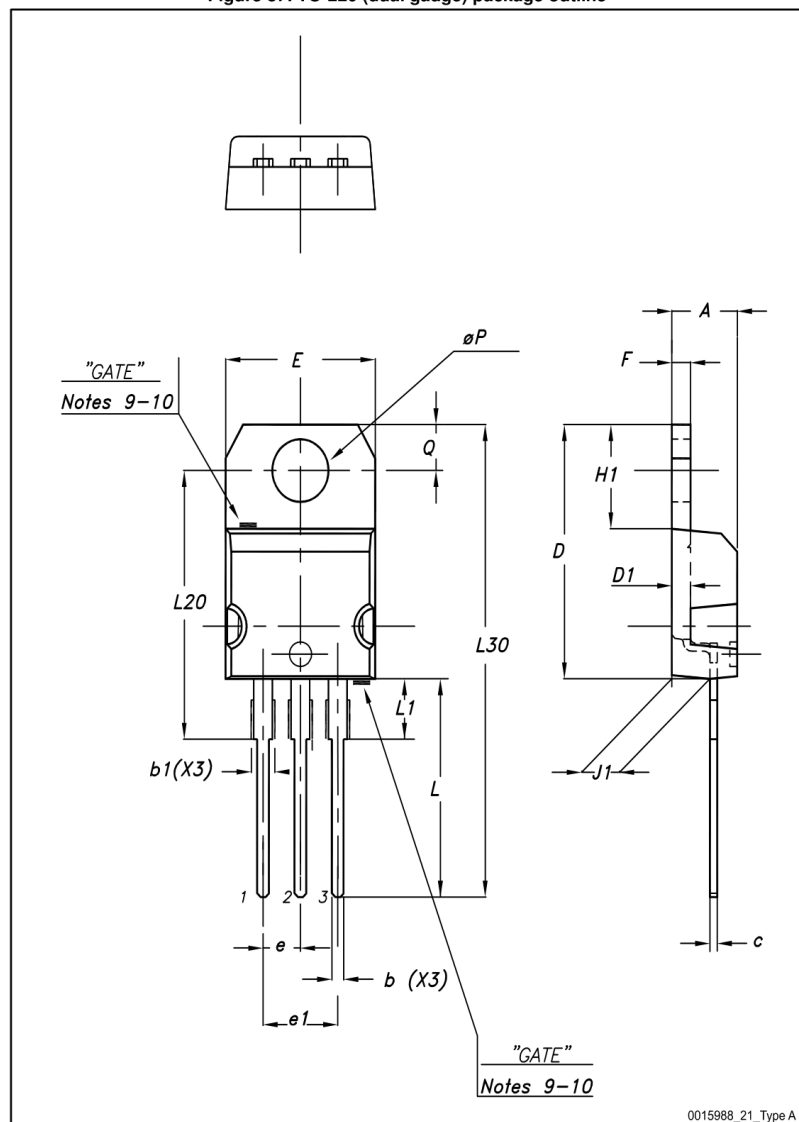
8 Package information

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK® packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK® specifications, grade definitions and product status are available at: **www.st.com**. ECOPACK® is an ST trademark.



8.1 TO-220 (dual gauge) package information

Figure 37: TO-220 (dual gauge) package outline



L78

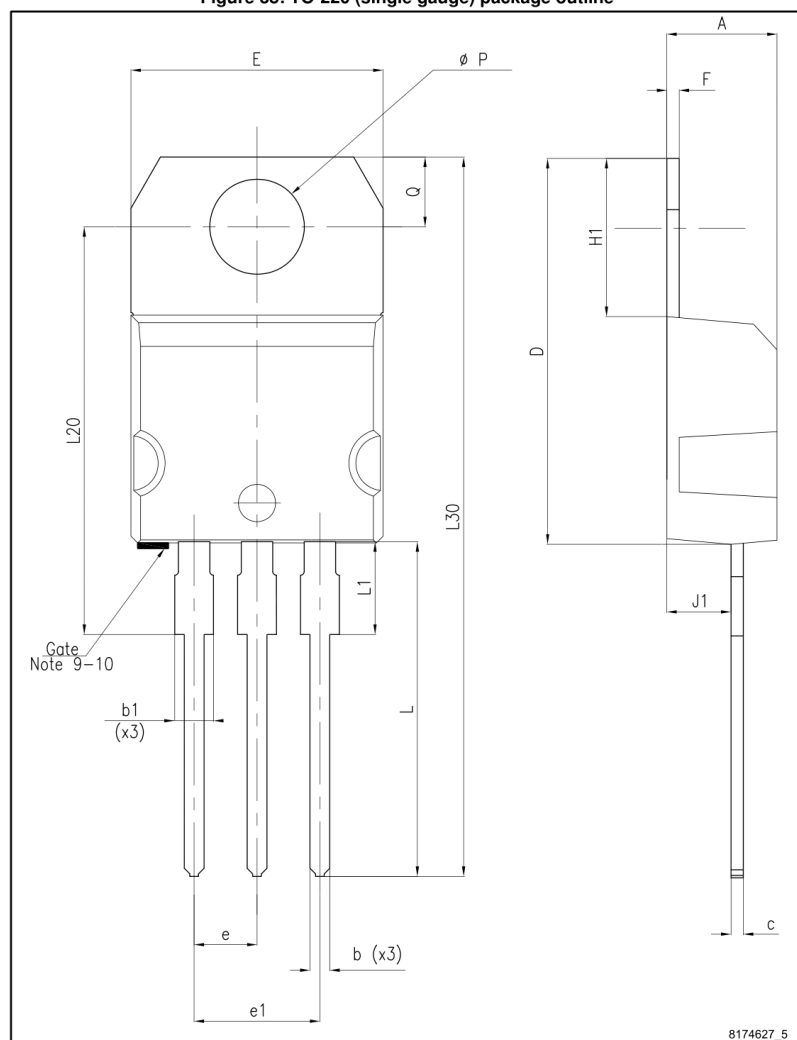
Package information

Table 19: TO-220 (dual gauge) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
D1		1.27	
E	10		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	1.23		1.32
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13		14
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
ØP	3.75		3.85
Q	2.65		2.95

8.2 TO-220 (single gauge) package information

Figure 38: TO-220 (single gauge) package outline



L78

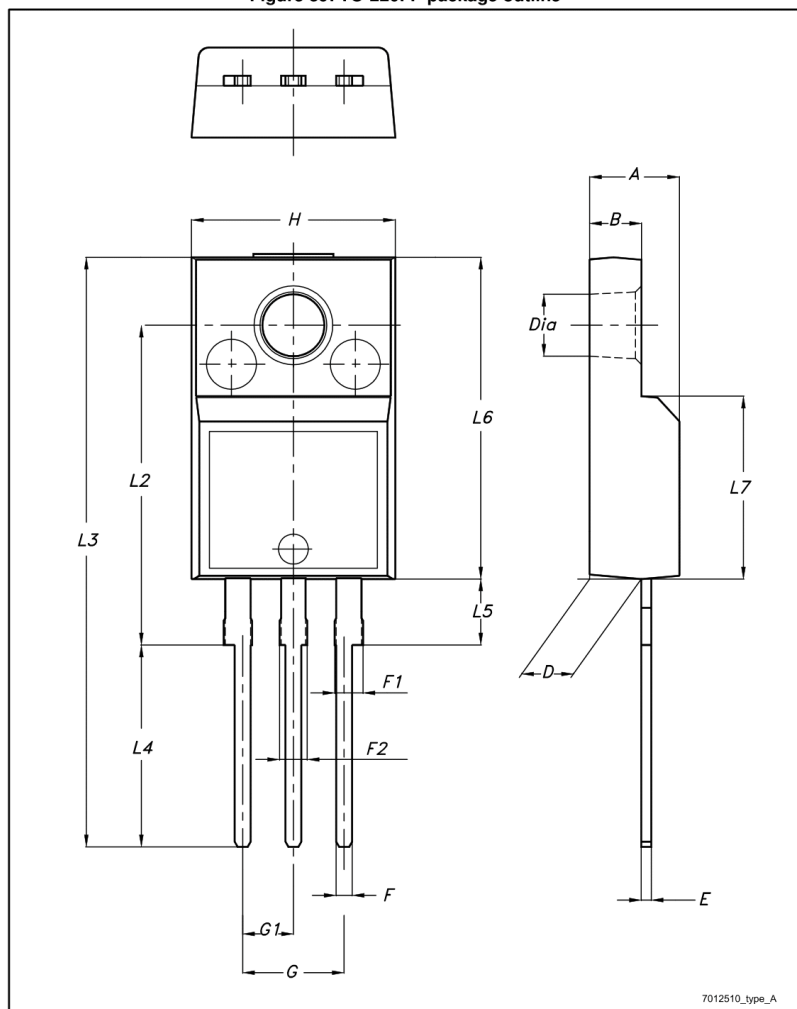
Package information

Table 20: TO-220 (single gauge) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
E	10.00		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	0.51		0.60
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13.00		14.00
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
ØP	3.75		3.85
Q	2.65		2.95

8.3 TO-220FP package information

Figure 39: TO-220FP package outline



L78

Package information

Table 21: TO-220FP package mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.4		4.6
B	2.5		2.7
D	2.5		2.75
E	0.45		0.7
F	0.75		1
F1	1.15		1.70
F2	1.15		1.70
G	4.95		5.2
G1	2.4		2.7
H	10		10.4
L2		16	
L3	28.6		30.6
L4	9.8		10.6
L5	2.9		3.6
L6	15.9		16.4
L7	9		9.3
Dia	3		3.2

8.4 TO-220 packing information

Figure 40: Tube for TO-220 (dual gauge) (mm.)

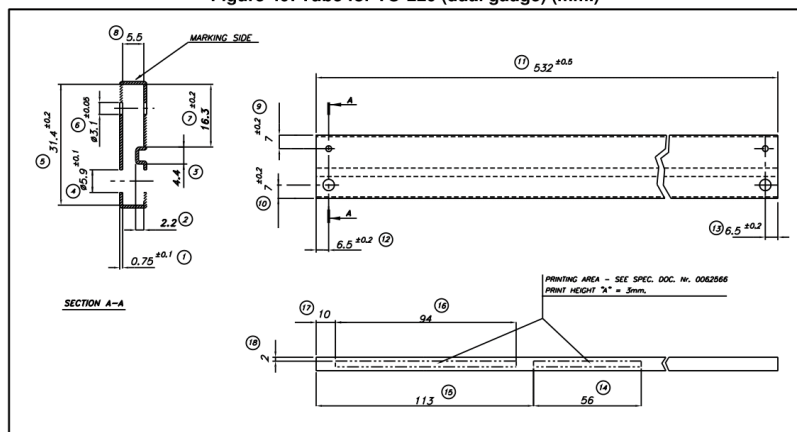
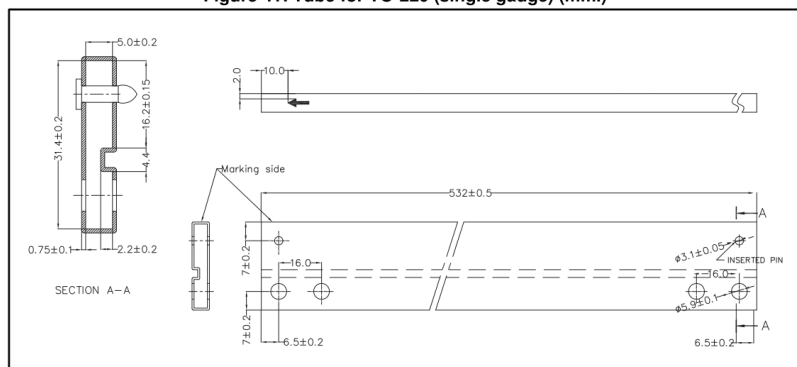


Figure 41: Tube for TO-220 (single gauge) (mm.)

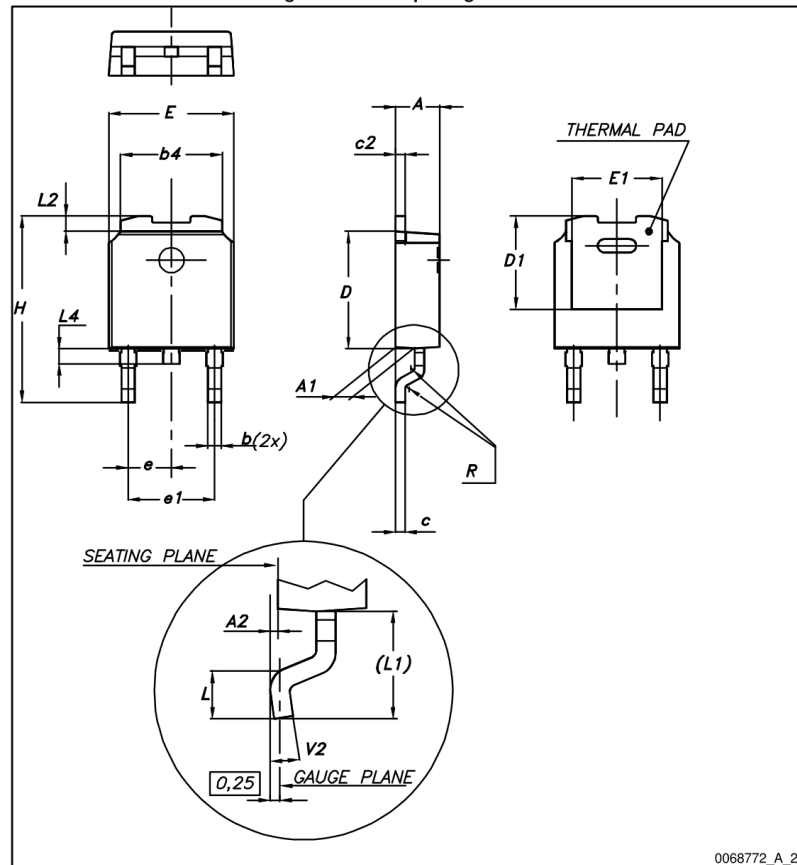


L78

Package information

8.5 DPAK package information

Figure 42: DPAK package outline



Package information

L78

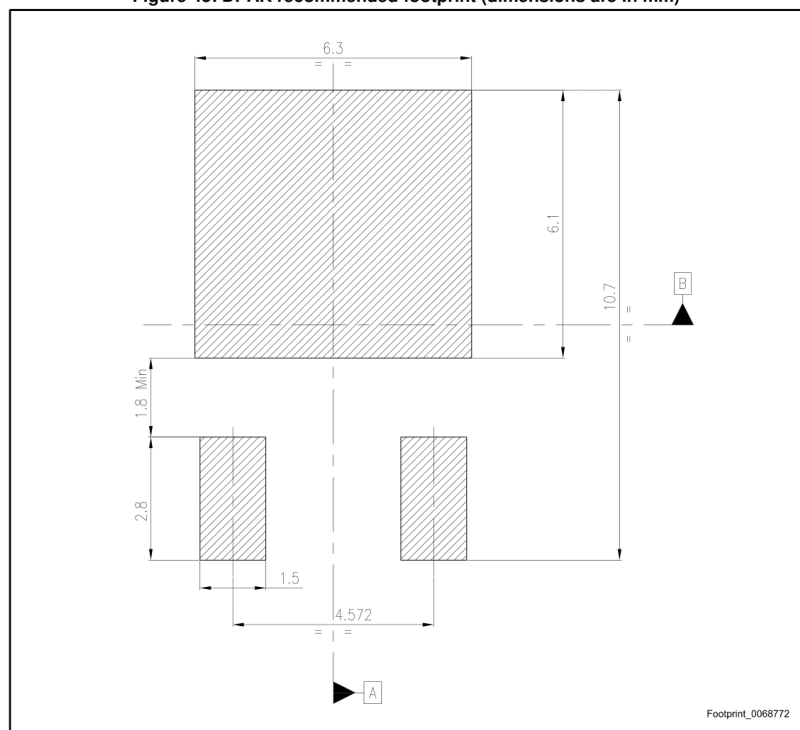
Table 22: DPAK mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	2.20		2.40
A1	0.90		1.10
A2	0.03		0.23
b	0.64		0.90
b4	5.20		5.40
c	0.45		0.60
c2	0.48		0.60
D	6.00		6.20
D1		5.10	
E	6.40		6.60
E1		4.70	
e		2.28	
e1	4.40		4.60
H	9.35		10.10
L	1.00		1.50
(L1)		2.80	
L2		0.80	
L4	0.60		1.00
R		0.20	
V2	0°		8°

L78

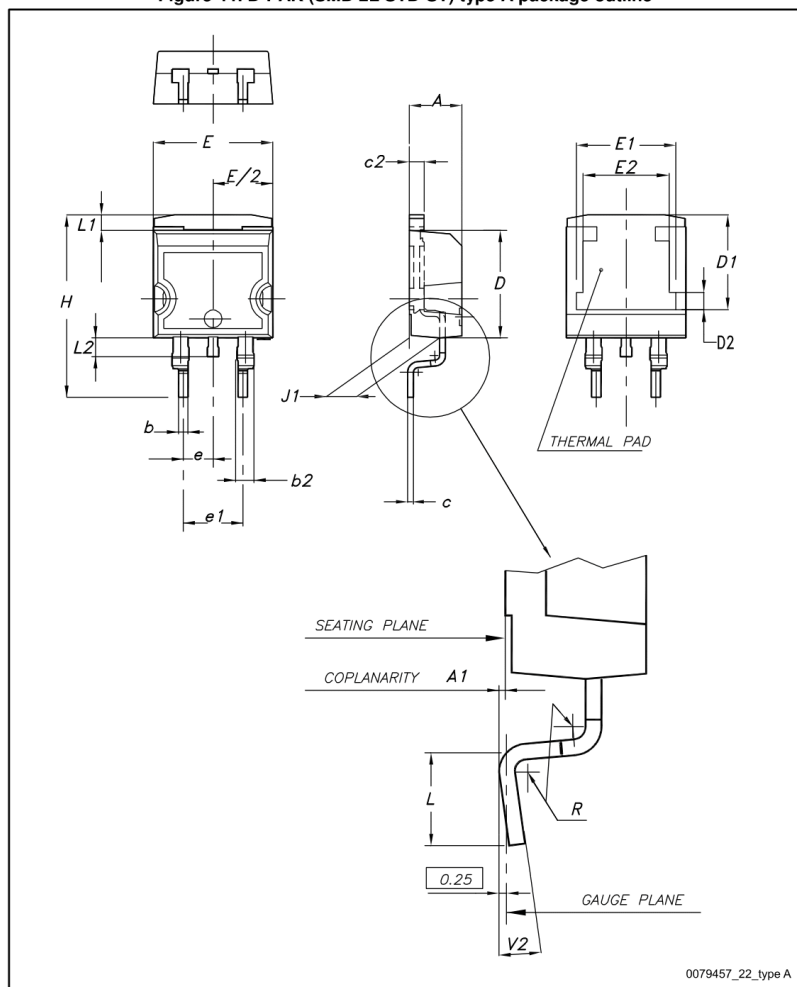
Package information

Figure 43: DPAK recommended footprint (dimensions are in mm)



8.6 D²PAK (SMD 2L STD-ST) type A package information

Figure 44: D²PAK (SMD 2L STD-ST) type A package outline



L78

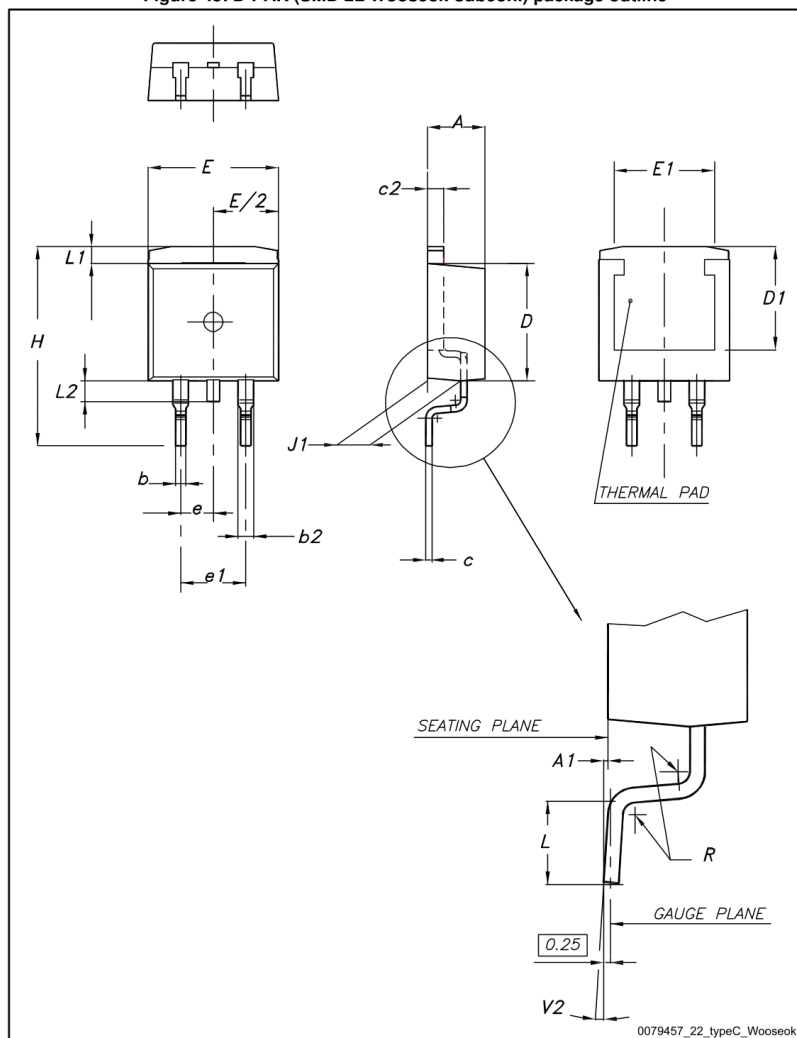
Package information

Table 23: D²PAK (SMD 2L STD-ST) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
A1	0.03		0.23
b	0.70		0.93
b2	1.14		1.70
c	0.45		0.60
c2	1.23		1.36
D	8.95		9.35
D1	7.50	7.75	8.00
D2	1.10	1.30	1.50
E	10		10.40
E1	8.50	8.70	8.90
E2	6.85	7.05	7.25
e		2.54	
e1	4.88		5.28
H	15		15.85
J1	2.49		2.69
L	2.29		2.79
L1	1.27		1.40
L2	1.30		1.75
R		0.4	
V2	0°		8°

8.7 D²PAK (SMD 2L Wooseek-subcon.) package information

Figure 45: D²PAK (SMD 2L Wooseek-subcon.) package outline



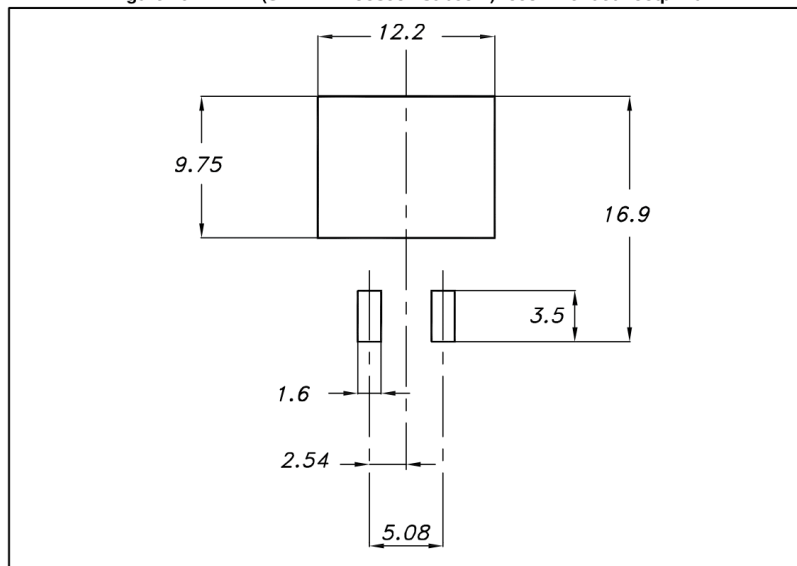
L78

Package information

Table 24: D²PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.30		4.70
A1	0		0.20
b	0.70		0.90
b2	1.17		1.37
c	0.45	0.50	0.60
c2	1.25	1.30	1.40
D	9	9.20	9.40
D1	7.50		
E	9.80		10.20
E1	7.50		
e		2.54	
e1		5.08	
H	15	15.30	15.60
J1	2.20		2.60
L	1.79		2.79
L1	1		1.40
L2	1.20		1.60
R		0.30	
V2	0°		3°

Figure 46: D²PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) recommended footprint



L78

Package information

8.8 D²PAK and DPAK packing information

Figure 47: Tape outline

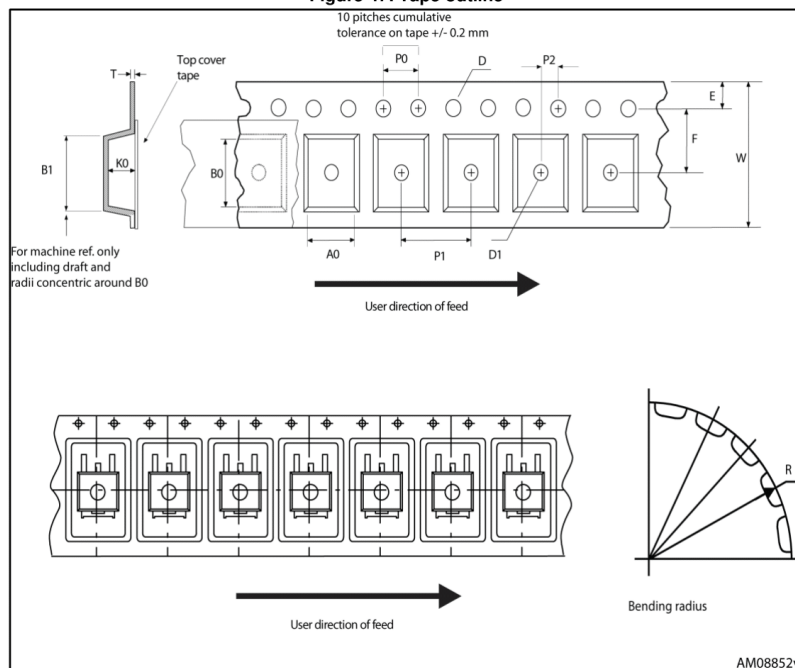


Figure 48: Reel outline

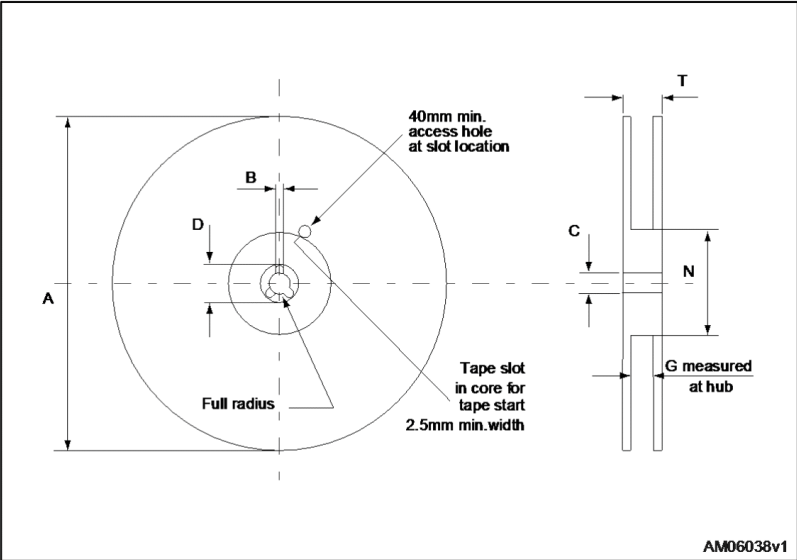


Table 25: D²PAK tape and reel mechanical data

Tape			Reel		
Dim.	mm		Dim.	mm	
	Min.	Max.		Min.	Max.
A0	10.5	10.7	A		330
B0	15.7	15.9	B	1.5	
D	1.5	1.6	C	12.8	13.2
D1	1.59	1.61	D	20.2	
E	1.65	1.85	G	24.4	26.4
F	11.4	11.6	N	100	
K0	4.8	5.0	T		30.4
P0	3.9	4.1			
P1	11.9	12.1	Base quantity		1000
P2	1.9	2.1	Bulk quantity		1000
R	50				
T	0.25	0.35			
W	23.7	24.3			

L78

Package information

Table 26: DPAK tape and reel mechanical data

Tape			Reel		
Dim.	mm		Dim.	mm	
	Min.	Max.		Min.	Max.
A0	6.8	7	A		330
B0	10.4	10.6	B	1.5	
B1		12.1	C	12.8	13.2
D	1.5	1.6	D	20.2	
D1	1.5		G	16.4	18.4
E	1.65	1.85	N	50	
F	7.4	7.6	T		22.4
K0	2.55	2.75			
P0	3.9	4.1	Base qty.		2500
P1	7.9	8.1	Bulk qty.		2500
P2	1.9	2.1			
R	40				
T	0.25	0.35			
W	15.7	16.3			

9 Ordering information

Table 27: Order codes

Part number	Order codes					
	TO-220 (single gauge)	TO-220 (dual gauge)	DPAK	D ² PAK	TO-220FP	Output voltages
L7805C	L7805CV	L7805CV-DG	L7805CDT-TR	L7805CD2T-TR	L7805CP	5 V
L7805AB	L7805ABV	L7805ABV-DG		L7805ABD2T-TR	L7805ABP	5 V
L7805AC	L7805ACV	L7805ACV-DG		L7805ACD2T-TR	L7805ACP	5 V
L7806C	L7806CV	L7806CV-DG		L7806CD2T-TR		6 V
L7806AB	L7806ABV	L7806ABV-DG		L7806ABD2T-TR		6 V
L7806AC	L7806ACV	L7806ACV-DG				6 V
L7808C	L7808CV	L7808CV-DG		L7808CD2T-TR		8 V
L7808AB	L7808ABV	L7808ABV-DG		L7808ABD2T-TR		8 V
L7808AC	L7808ACV	L7808ACV-DG				8 V
L7885C	L7885CV					8.5 V
L7809C	L7809CV	L7809CV-DG		L7809CD2T-TR	L7809CP	9 V
L7809AB	L7809ABV	L7809ABV-DG		L7809ABD2T-TR		9 V
L7809AC	L7809ACV					9 V
L7812C	L7812CV	L7812CV-DG		L7812CD2T-TR	L7812CP	12 V
L7812AB	L7812ABV	L7812ABV-DG		L7812ABD2T-TR		12 V
L7812AC	L7812ACV	L7812ACV-DG		L7812ACD2T-TR		12 V
L7815C	L7815CV	L7815CV-DG		L7815CD2T-TR	L7815CP	15 V
L7815AB	L7815ABV	L7815ABV-DG		L7815ABD2T-TR		15 V
L7815AC	L7815ACV	L7815ACV-DG		L7815ACD2T-TR		15 V
L7818C	L7818CV	L7818CV-DG				18 V
L7824C	L7824CV	L7824CV-DG		L7824CD2T-TR	L7824CP	24 V
L7824AB	L7824ABV	L7824ABV-DG				24 V
L7824AC	L7824ACV	L7824ACV-DG				24 V

10 Revision history

Table 28: Document revision history

Date	Revision	Changes
21-Jun-2004	12	Document updating.
03-Aug-2006	13	Order codes has been updated and new template.
19-Jan-2007	14	D ² PAK mechanical data has been updated and add footprint data.
31-May-2007	15	Order codes has been updated.
29-Aug-2007	16	Added Table 1 in cover page.
11-Dec-2007	17	Modified: Table 27.
06-Feb-2008	18	Added: TO-220 mechanical data Figure 38 on page 38 , Figure 39 on page 39, and Table 23 on page 37. Modified: Table 27 on page 58.
18-Mar-2008	19	Added: Table 29: DPAK mechanical data on page 50, Table 30: Tape and reel DPAK mechanical data on page 52. Modified: Table 27 on page 58.
26-Jan-2010	20	Modified Table 1 on page 1 and Table 23 on page 37, added: Figure 38 on page 38 and Figure 39 on page 39, Figure 40 on page 45 and Figure 41 on page 45.
04-Mar-2010	21	Added notes Figure 38 on page 38.
08-Sep-2010	22	Modified Table 27 on page 58.
23-Nov-2010	23	Added: TJ = 25 °C test condition in DVO on Table 3, 4, 5, 6, 7, 8 and Table 9.
16-Sep-2011	24	Modified title on page 1.
30-Nov-2011	25	Added: order codes L7805CV-DG, L7806CV-DG, L7808ABV-DG, L7812CV-DG and L7815CV-DG Table 27 on page 58.
08-Feb-2012	26	Added: order codes L7805ACV-DG, L7805ABV-DG, L7806ABV-DG, L7808CV-DG, L7809CV-DG, L7812ACV-DG, L7818CV-DG, L7824CV-DG Table 27 on page 58.
27-Mar-2012	27	Added: order codes L7812ABV-DG, L7815ABV-DG Table 27 on page 58.
27-Apr-2012	28	Modified: VI = 10.4 to 23 V ==> VI = 11.4 to 23 V test conditon value Line regulation Table 6 on page 13.
10-May-2012	29	Added: order codes L7806ACV-DG, L7808ACV-DG, L7815ACV-DG, L7824ABV-DG and L7824ACV-DG Table 27 on page 58.
19-Sep-2012	30	Modified load regulation units from V to mV in Table 3 to Table 9.
12-Mar-2013	31	Modified: VO output voltage at 25 °C min. value 14.4 V Table 16 on page 23.
04-Mar-2014	32	Part numbers L78xx, L78xxC, L78xxAB, L78xxAC changed to L78. Removed TO-3 package. Updated the description in cover page, Section 2: Pin configuration, Section 3: Maximum ratings, Section 4: Test circuits, Section 5: Electrical characteristics, Section 6: Application information, Section 8: Package information and Table 27: Order codes. Added Section 9: Packaging mechanical data. Minor text changes.
26-Feb-2016	33	Updated <i>Section 8: Package information</i> . Minor text changes.
28-Nov-2016	34	Updated <i>Section 9: "Ordering information"</i> . Minor text changes.

IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY

STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, enhancements, modifications, and improvements to ST products and/or to this document at any time without notice. Purchasers should obtain the latest relevant information on ST products before placing orders. ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale in place at the time of order acknowledgement.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection, and use of ST products and ST assumes no liability for application assistance or the design of Purchasers' products.

No license, express or implied, to any intellectual property right is granted by ST herein.

Resale of ST products with provisions different from the information set forth herein shall void any warranty granted by ST for such product.

ST and the ST logo are trademarks of ST. All other product or service names are the property of their respective owners.

Information in this document supersedes and replaces information previously supplied in any prior versions of this document.

© 2016 STMicroelectronics – All rights reserved

B3. Regulador de tensió L7905CV



L79xxC

Negative voltage regulators

Datasheet — production data

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of - 5; - 8; - 12; - 15 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

Description

The L79xxC series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L78xx positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

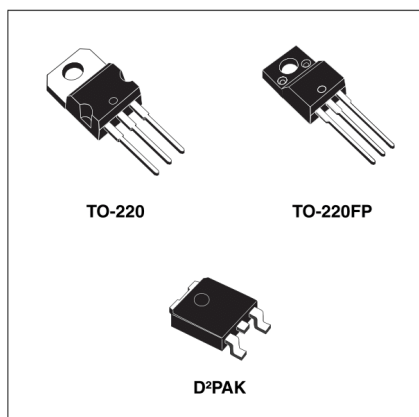


Table 1. Device summary

Part numbers	Order codes				Output voltages
	TO-220		D ² PAK	TO-220FP	
L7905C	L7905CV	L7905CV-DG ⁽¹⁾	L7905CD2T-TR	L7905CP	- 5 V
L7908C	L7908CV	L7908CV-DG ⁽¹⁾			- 8 V
L7912C	L7912CV	L7912CV-DG ⁽¹⁾	L7912CD2T-TR	L7912CP	- 12 V
L7915C	L7915CV	L7915CV-DG ⁽¹⁾	L7915CD2T-TR	L7915CP	- 15 V

1. TO-220 Dual Gauge frame.

May 2012

Doc ID 2149 Rev 21

1/24

This is information on a product in full production.

www.st.com



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Contents

1 Diagram 3

2 Pin configuration 4

3 Maximum ratings 5

4 Test circuit 6

5 Electrical characteristics 7

6 Application information 11

7 Package mechanical data 13

8 Revision history 23

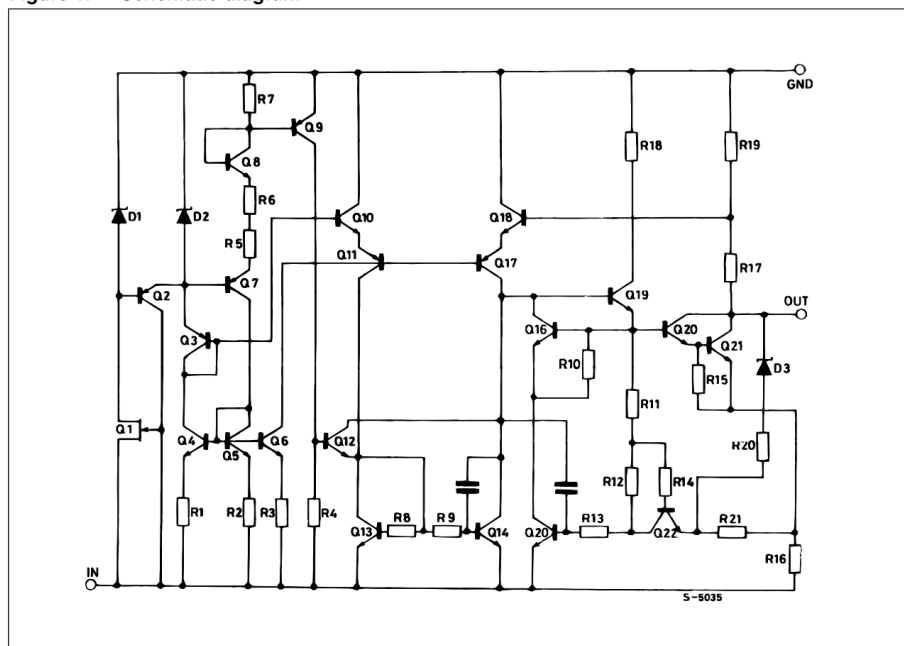


L79xxC

Diagram

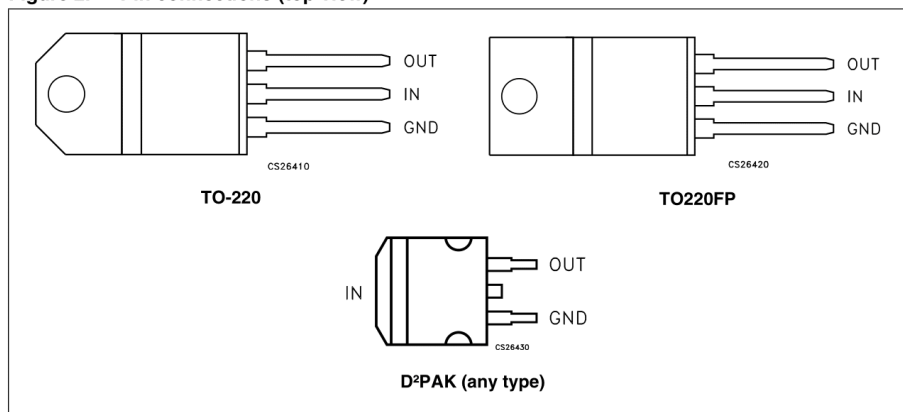
1 Diagram

Figure 1. Schematic diagram



2 Pin configuration

Figure 2. Pin connections (top view)



L79xxC

Maximum ratings

3 Maximum ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = -5$ to -18 V	V
		for $V_O = -20$ to -24 V	
I_O	Output current	Internally limited	
P_D	Power dissipation	Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$
T_{OP}	Operating junction temperature range	0 to 150	$^{\circ}\text{C}$

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 3. Thermal data

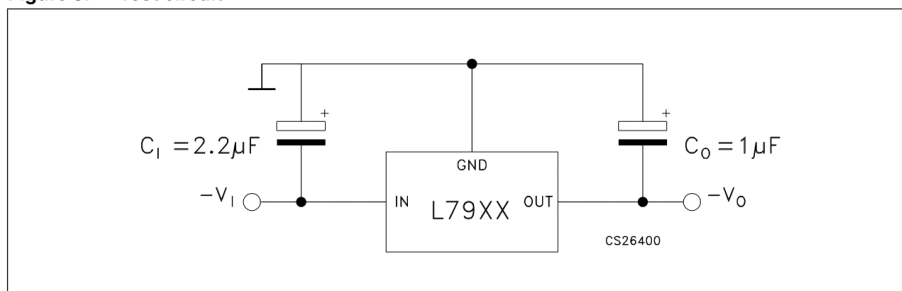
Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	5	5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Test circuit

L79xxC

4 Test circuit

Figure 3. Test circuit



L79xxC

Electrical characteristics

5 Electrical characteristics

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified.

Table 4. Electrical characteristics of L7905C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -8\text{ to } -20\text{ V}$	-4.75	-5	-5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -7\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_I = -8\text{ to } -12\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -8\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.4		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short circuit current			2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Electrical characteristics

L79xxC

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified.

Table 5. Electrical characteristics of L7908C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-7.7	-8	-8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -11.5\text{ to } -23\text{ V}$	-7.6	-8	-8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -10.5\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = -11\text{ to } -17\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -11.5\text{ to } -25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		175		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

L79xxC

Electrical characteristics

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified.

Table 6. Electrical characteristics of L7912C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-11.5	-12	-12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -15.5\text{ to } -27\text{ V}$	-11.4	-12	-12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -14.5\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = -16\text{ to } -22\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -15\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		200		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Electrical characteristics

L79xxC

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified.

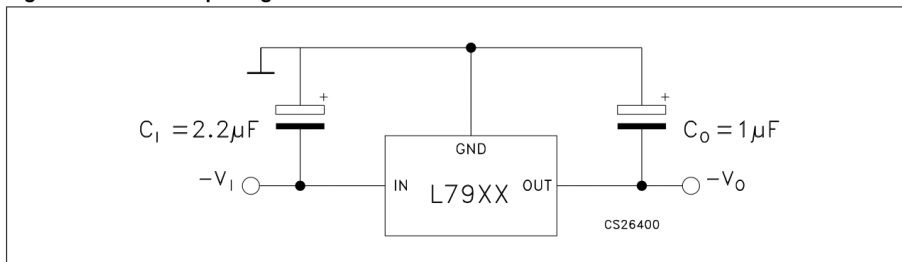
Table 7. Electrical characteristics of L7915C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.3		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

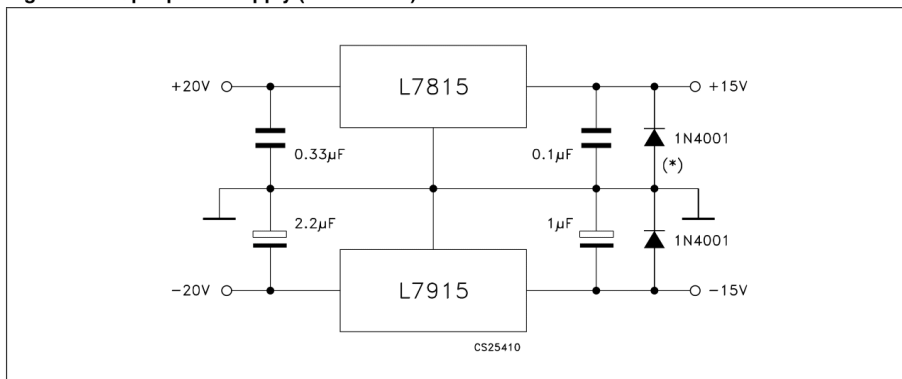
6 Application information

Figure 4. Fixed output regulator



1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. If aluminium electrolytic are used, at least ten times value should be selected. C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. To improve transient response, If large capacitors are used, a high current diode from input to output (1N4001 or similar) should be introduced to protect the device from momentary input short circuit.

Figure 5. Split power supply (± 15 V - 1 A)

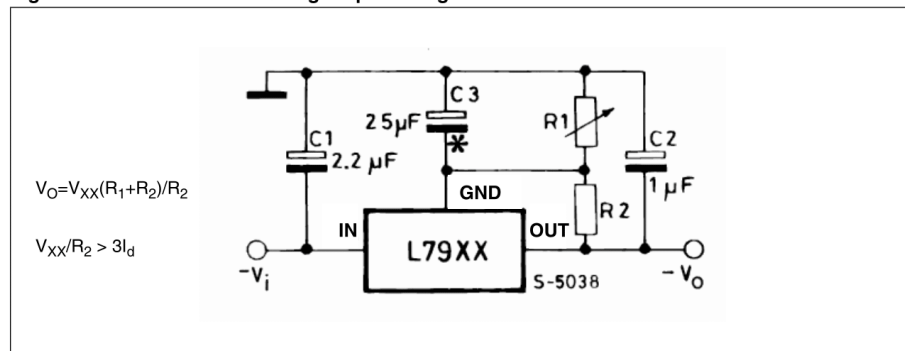


(*) Against potential latch-up problems.

Application information

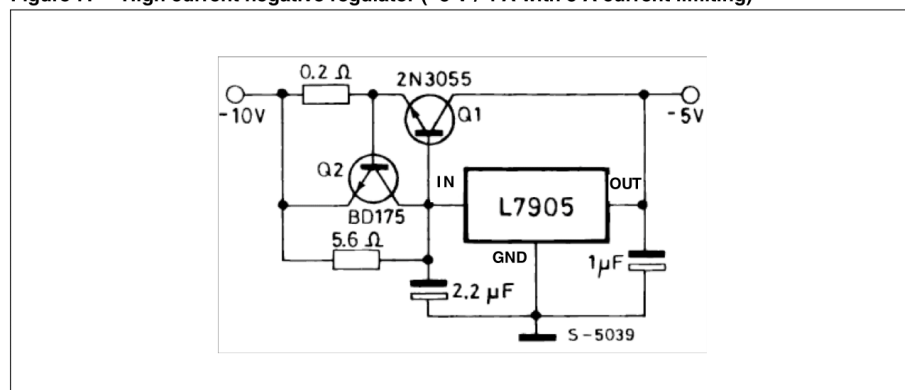
L79xxC

Figure 6. Circuit for increasing output voltage



C3 Optional for improved transient response and ripple rejection.

Figure 7. High current negative regulator (- 5 V / 4 A with 5 A current limiting)



L79xxC

Package mechanical data

7 Package mechanical data

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK® packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK® specifications, grade definitions and product status are available at: www.st.com. ECOPACK® is an ST trademark.

Table 8. TO-220 mechanical data

Dim.	Type STD - ST Dual Gauge			Type STD - ST Single Gauge		
	mm.			mm.		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60	4.40		4.60
b	0.61		0.88	0.61		0.88
b1	1.14		1.70	1.14		1.70
c	0.48		0.70	0.48		0.70
D	15.25		15.75	15.25		15.75
D1		1.27				
E	10.00		10.40	10.00		10.40
e	2.40		2.70	2.40		2.70
e1	4.95		5.15	4.95		5.15
F	1.23		1.32	0.51		0.60
H1	6.20		6.60	6.20		6.60
J1	2.40		2.72	2.40		2.72
L	13.00		14.00	13.00		14.00
L1	3.50		3.93	3.50		3.93
L20		16.40			16.40	
L30		28.90			28.90	
ØP	3.75		3.85	3.75		3.85
Q	2.65		2.95	2.65		2.95

Note: In spite of some difference in tolerances, the packages are compatible.



Doc ID 2149 Rev 21

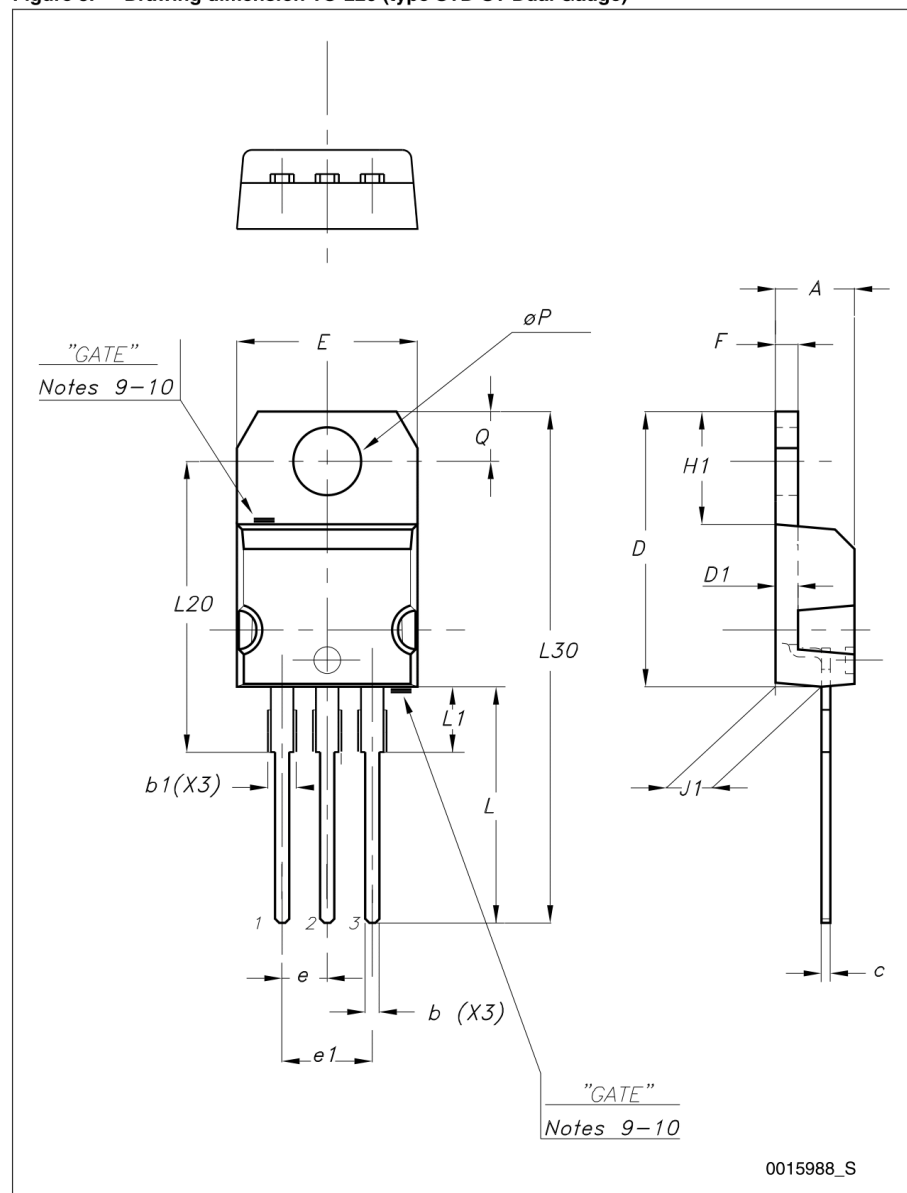
13/24



Package mechanical data

L79xxC

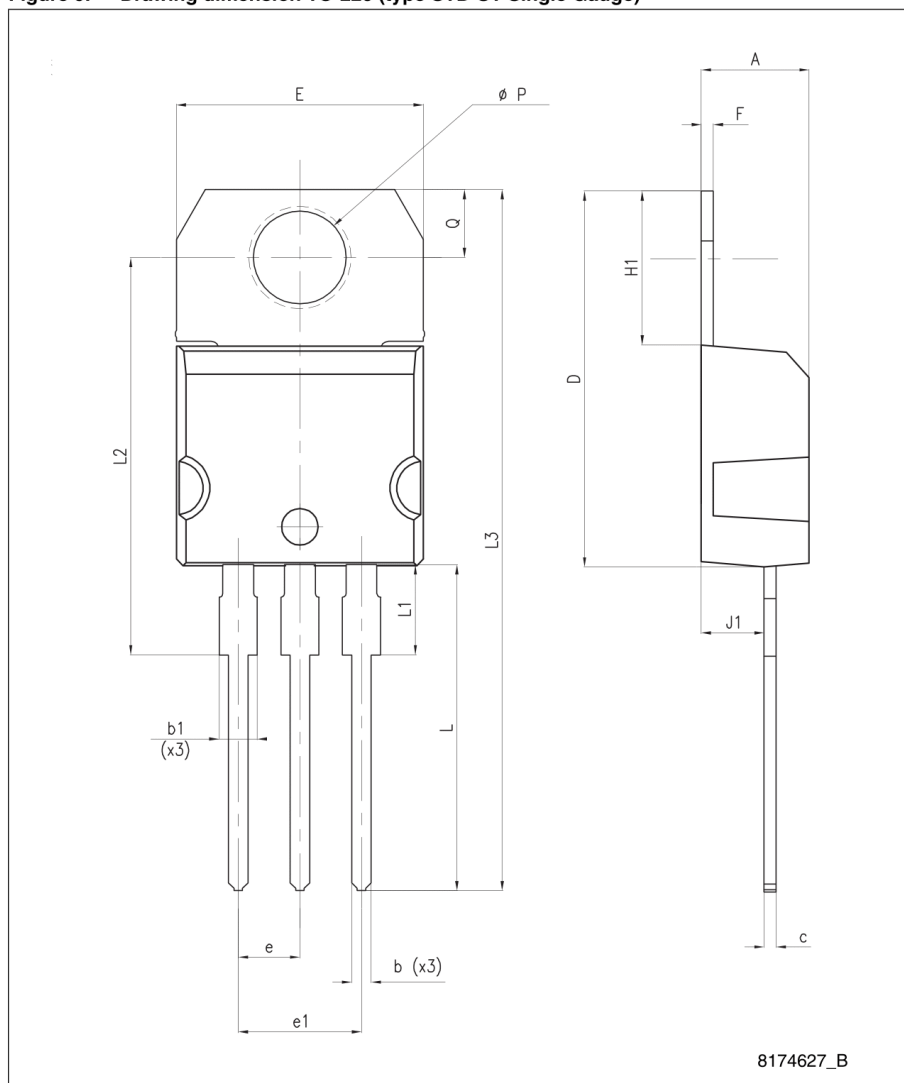
Figure 8. Drawing dimension TO-220 (type STD-ST Dual Gauge)



L79xxC

Package mechanical data

Figure 9. Drawing dimension TO-220 (type STD-ST Single Gauge)



Package mechanical data

L79xxC

Figure 10. Drawing dimension tube for TO-220 Dual Gauge (mm)

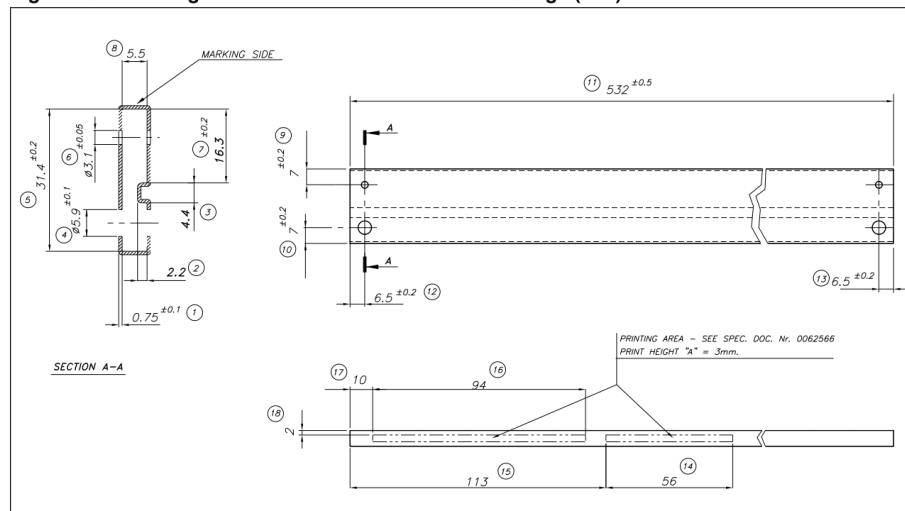
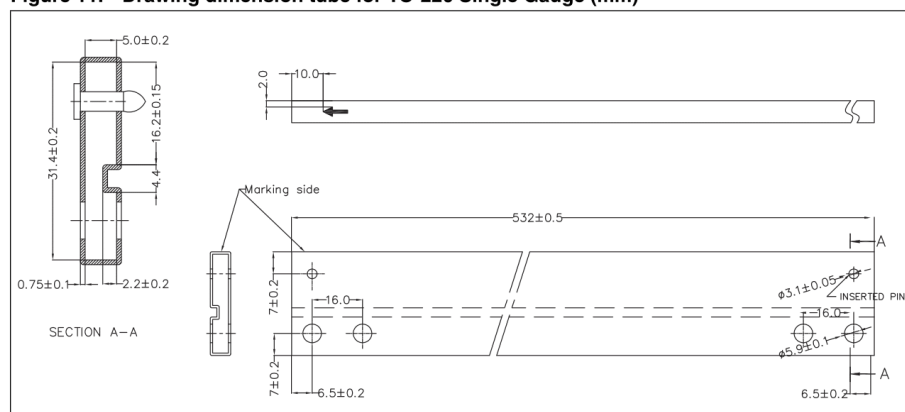


Figure 11. Drawing dimension tube for TO-220 Single Gauge (mm)

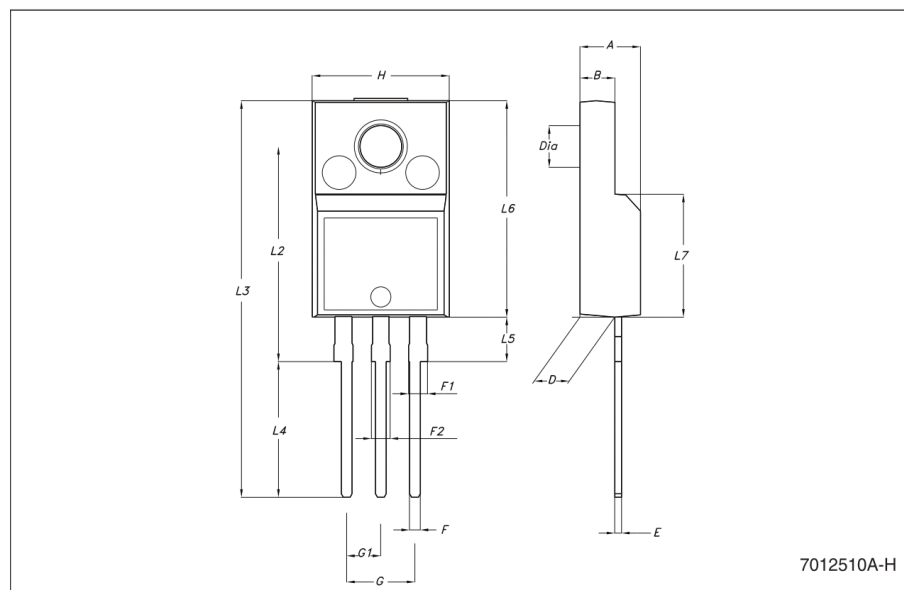


L79xxC

Package mechanical data

TO-220FP mechanical data

Dim.	mm.			inch.		
	Min.	Typ	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.45		0.70	0.017		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.50	0.045		0.059
F2	1.15		1.50	0.045		0.059
G	4.95		5.2	0.194		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L5	2.9		3.6	0.114		0.142
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
DIA.	3		3.2	0.118		0.126



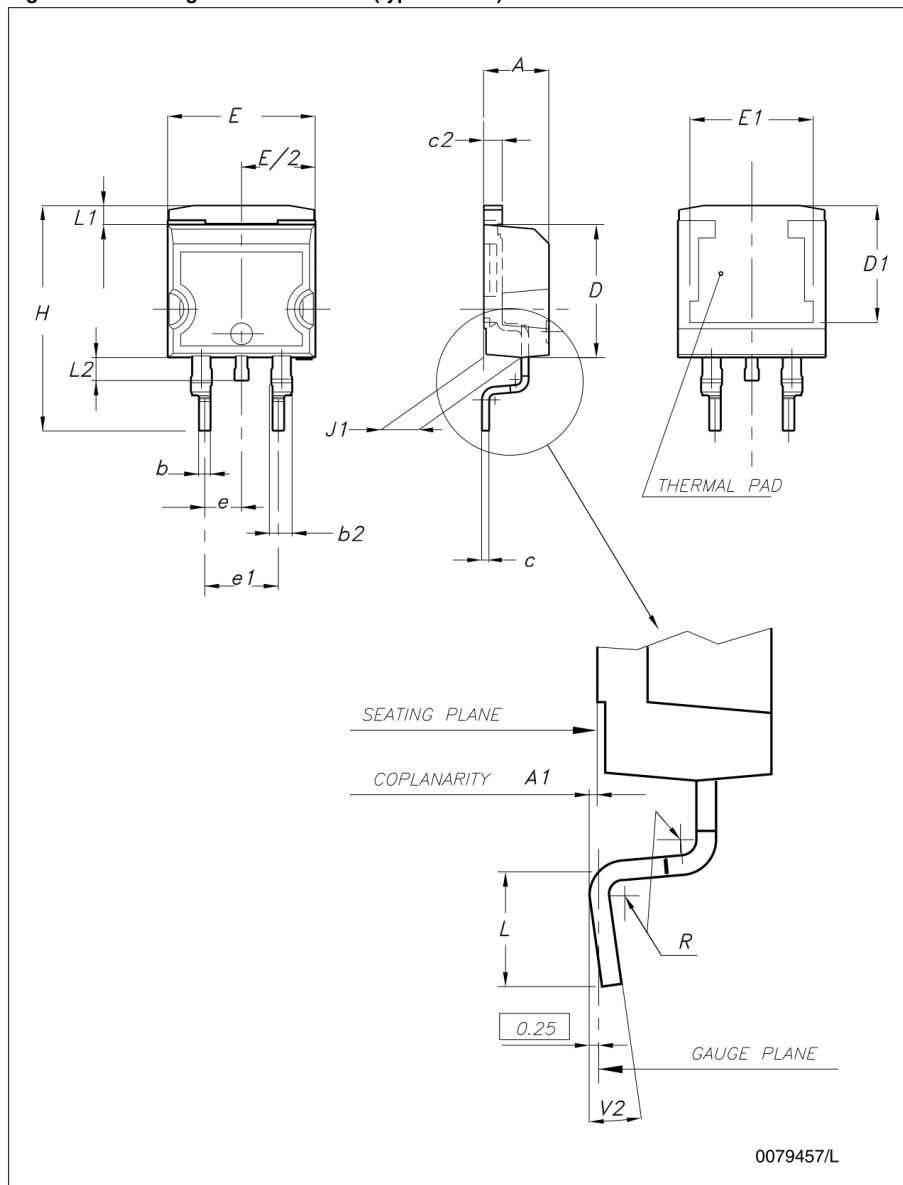
Doc ID 2149 Rev 21

17/24

Package mechanical data

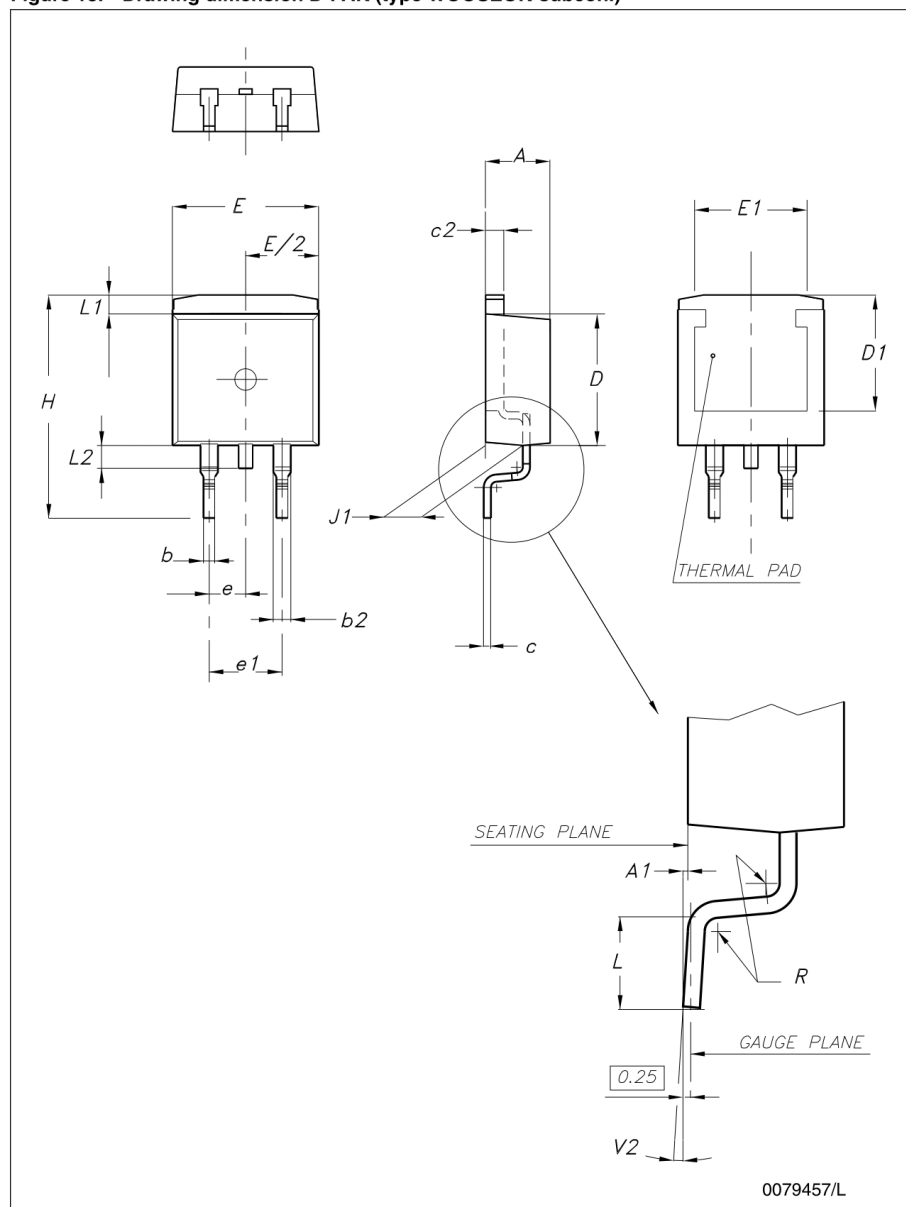
L79xxC

Figure 12. Drawing dimension D²PAK (type STD-ST)



L79xxC

Package mechanical data

Figure 13. Drawing dimension D²PAK (type WOOSEOK-subcon.)

Doc ID 2149 Rev 21

19/24



Package mechanical data

L79xxC

Table 9. D²PAK mechanical data

Dim.	Type STD-ST			Type WOOSEOK-subcon.		
	mm.			mm.		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60	4.30		4.70
A1	0.03		0.23	0		0.20
b	0.70		0.93	0.70		0.90
b2	1.14		1.70	1.17		1.37
c	0.45		0.60	0.45	0.50	0.60
c2	1.23		1.36	1.25	1.30	1.40
D	8.95		9.35	9	9.20	9.40
D1	7.50			7.50		
E	10		10.40	9.80		10.20
E1	8.50			7.50		
e		2.54			2.54	
e1	4.88		5.28		5.08	
H	15		15.85	15	15.30	15.60
J1	2.49		2.69	2.20		2.60
L	2.29		2.79	1.79		2.79
L1	1.27		1.40	1		1.40
L2	1.30		1.75	1.20		1.60
R		0.4			0.30	
V2	0°		8°	0°		3°

Note: The D²PAK package coming from the subcontractor WOOSEOK is fully compatible with the ST's package suggested footprint.

L79xxC

Package mechanical data

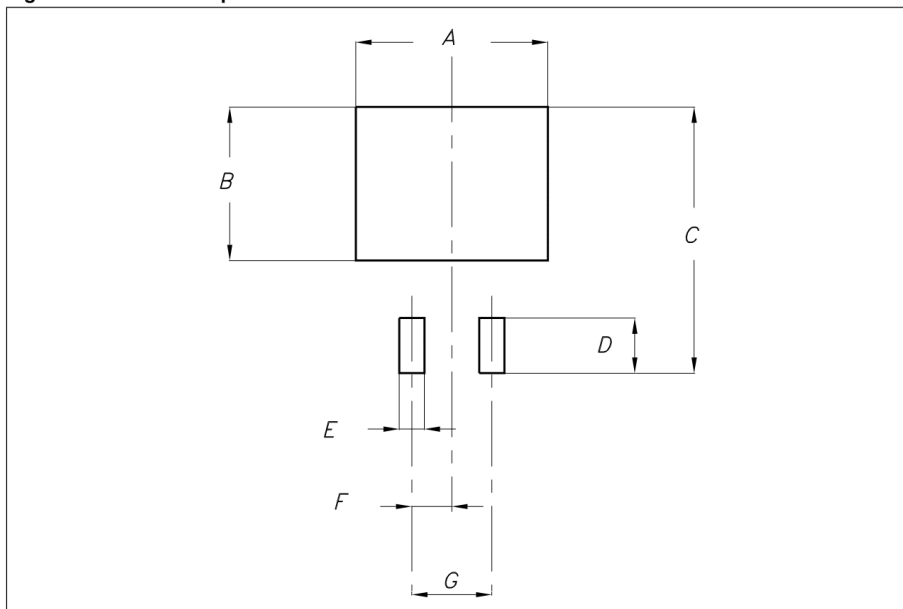
Figure 14. D²PAK footprint recommended data

Table 10. Footprint data

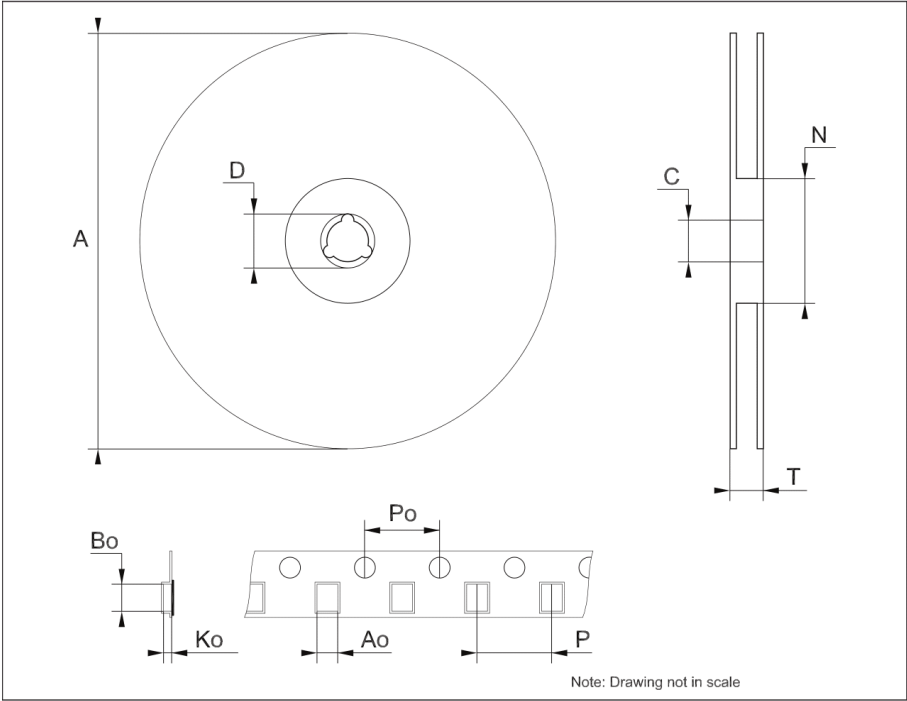
Dim.	Values	
	mm.	inch.
A	12.20	0.480
B	9.75	0.384
C	16.90	0.665
D	3.50	0.138
E	1.60	0.063
F	2.54	0.100
G	5.08	0.200

Package mechanical data

L79xxC

Tape & reel D²PAK-P²PAK-D²PAK/A-P²PAK/A mechanical data

Dim.	mm.			inch.		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			180			7.086
C	12.8	13.0	13.2	0.504	0.512	0.519
D	20.2			0.795		
N	60			2.362		
T			14.4			0.567
Ao	10.50	10.6	10.70	0.413	0.417	0.421
Bo	15.70	15.80	15.90	0.618	0.622	0.626
Ko	4.80	4.90	5.00	0.189	0.193	0.197
Po	3.9	4.0	4.1	0.153	0.157	0.161
P	11.9	12.0	12.1	0.468	0.472	0.476



L79xxC

Revision history

8 Revision history

Table 11. Document revision history

Date	Revision	Changes
22-Jun-2004	9	Order codes updated Table 3.
31-Aug-2005	10	Add new order codes (TO-220 E Type) on Table 3.
19-Jan-2007	11	D ² PAK mechanical data updated and add footprint data.
06-Jun-2007	12	Order codes updated.
25-Oct-2007	13	Modified: Figure 3 , Figure 4 , Figure 6 and Figure 7 .
05-Dec-2007	14	Modified: Table 1 .
18-Feb-2008	15	Modified: Table 1 on page 1 .
15-Jul-2008	16	Modified: Table 1 on page 1 .
19-Jan-2010	17	Modified: Table 8 on page 13 , added: Figure 8 on page 14 , Figure 9 on page 15 , Figure 10 and Figure 11 on page 16 .
26-May-2010	18	Modified: V_I parameter Table 2 on page 5 .
12-Nov-2010	19	Modified: R_{thJC} value for TO-220 Table 3 on page 5 .
18-Nov-2011	20	Added: order codes L7905CV-DG, L7912CV-DG and L7915CV-DG Table 1 on page 1 .
15-May-2012	21	Added: order codes L7908CV-DG Table 1 on page 1 .

L79xxC

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY TWO AUTHORIZED ST REPRESENTATIVES, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2012 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Philippines - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America


www.st.com

24/24

Doc ID 2149 Rev 21



B4. Transistor NPN BD139



BD135/137/139

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

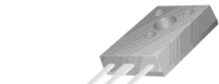
Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3.0	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_A=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD135 : BD137 : BD139	$I_C = 30\text{mA}$, $I_B = 0$	45			V
			60			V
			80			V
						V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}$, $I_E = 0$			0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}$, $I_C = 0$			10	μA
h_{FE1}	DC Current Gain : ALL DEVICE : BD135 : BD137, BD139	$V_{CE} = 2\text{V}$, $I_C = 5\text{mA}$	25			
$V_{CE} = 2\text{V}$, $I_C = 0.5\text{A}$		25				
$V_{CE} = 2\text{V}$, $I_C = 150\text{mA}$		40		250		
		40		160		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}$, $I_B = 50\text{mA}$			0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$, $I_C = 0.5\text{A}$			1	V

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250



TO-18

1. Emitter 2. Collector 3. Base

BD135/137/139

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

Typical Characteristics

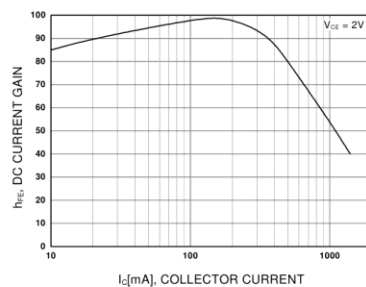


Figure 1. DC current Gain

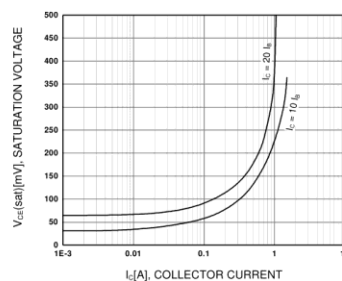


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

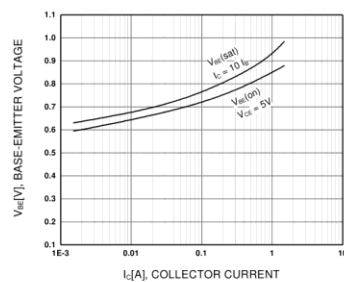


Figure 3. Base-Emitter Voltage

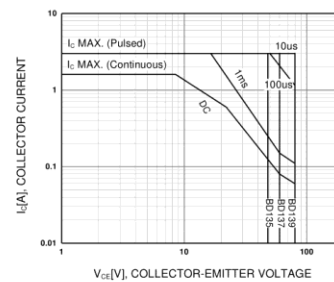


Figure 4. Safe Operating Area

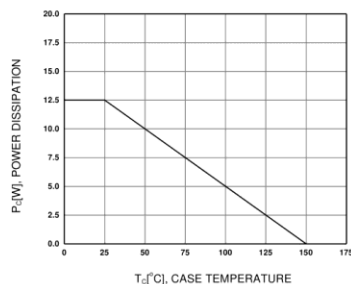


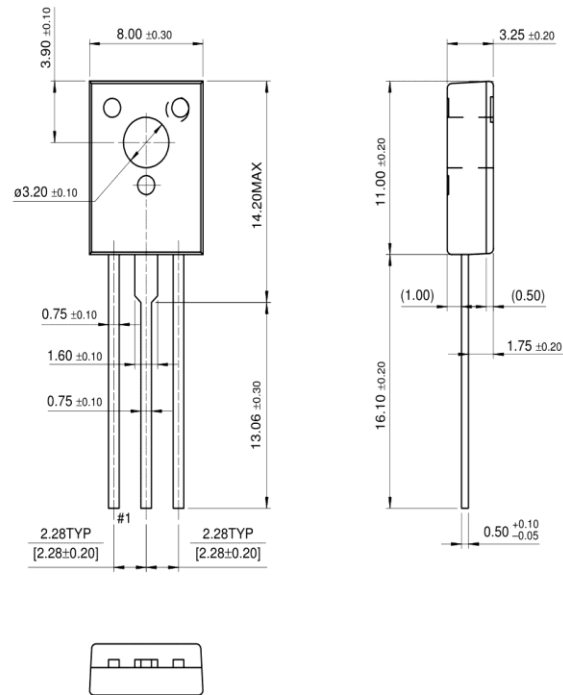
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

BD135/137/139

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² C MOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms


Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. E



B5. Transistor PNP BD140

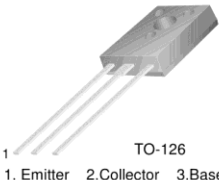


BD136/138/140

BD136/138/140

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively



TO-18
1. Emitter 2. Collector 3. Base

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BD136 : BD138 : BD140	- 45 - 60 - 80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BD136 : BD138 : BD140	- 45 - 60 - 80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	- 3.0	A
I_B	Base Current	- 0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_A=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD136 : BD138 : BD140	$I_C = -30\text{mA}$, $I_B = 0$	- 45 - 60 - 80			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = -30\text{V}$, $I_E = 0$			- 0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = -5\text{V}$, $I_C = 0$			- 10	μA
h_{FE1} h_{FE2} h_{FE3}	* DC Current Gain	$V_{CE} = -2\text{V}$, $I_C = -5\text{mA}$ $V_{CE} = -2\text{V}$, $I_C = -0.5\text{A}$ $V_{CE} = -2\text{V}$, $I_C = -150\text{mA}$	25 25 40		250	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -500\text{mA}$, $I_B = -50\text{mA}$			- 0.5	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = -2\text{V}$, $I_C = -0.5\text{A}$			- 1	V

* Pulse Test: PW=350 μs , duty Cycle=2% Pulsed

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Typical Characteristics

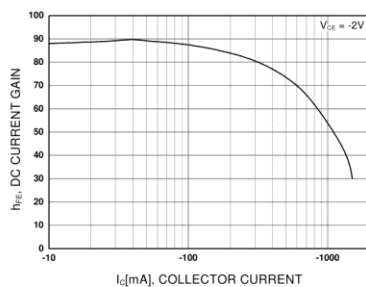


Figure 1. DC current Gain

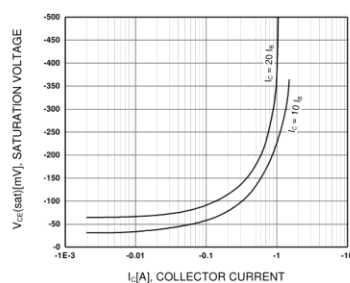


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

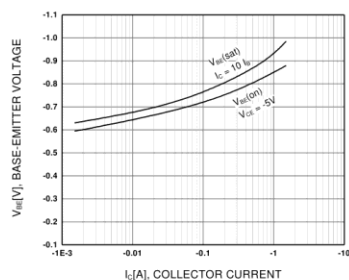


Figure 3. Base-Emitter Voltage

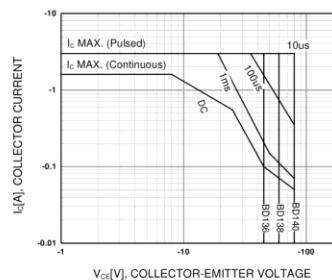


Figure 4. Safe Operating Area

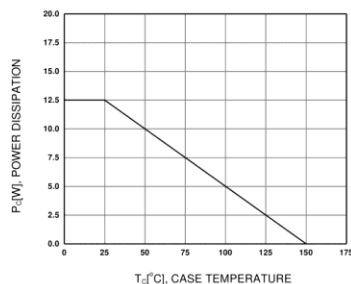


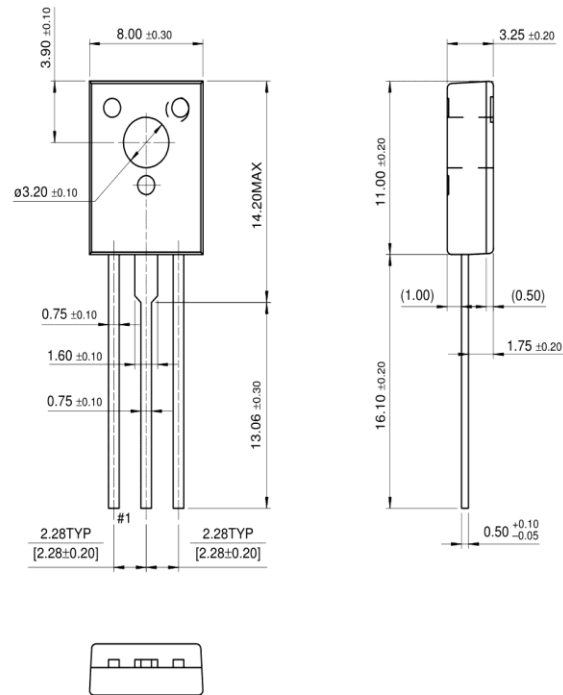
Figure 5. Power Derating

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

Package Demensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

BD136/138/140

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² C MOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

©2000 Fairchild Semiconductor International

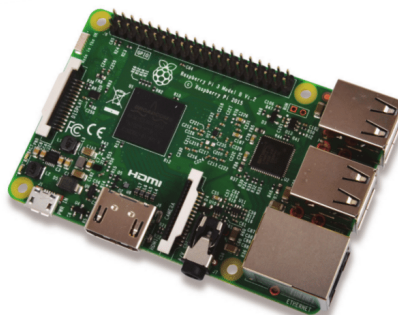
Rev. E



B6. Raspberry Pi 3B

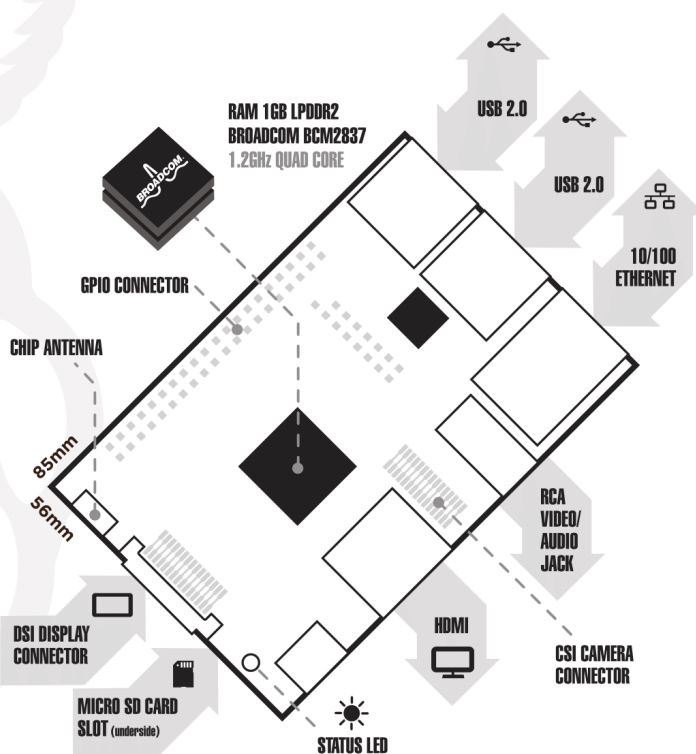


Raspberry Pi



Raspberry Pi 3 Model B

Product Name	Raspberry Pi 3
Product Description	The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. This powerful credit-card sized single board computer can be used for many applications and supersedes the original Raspberry Pi Model B+ and Raspberry Pi 2 Model B. Whilst maintaining the popular board format the Raspberry Pi 3 Model B brings you a more powerful processor, 10x faster than the first generation Raspberry Pi. Additionally it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity making it the ideal solution for powerful connected designs.
RS Part Number	896-8660



www.rs-components.com/raspberrypi



Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor	Broadcom BCM2387 chipset. 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode. Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	Audio Output 3.5mm jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Push/pull Micro SDIO

Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming



www.rs-components.com/raspberrypi



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

B7. Carregador oficial Raspberry Pi



T5875DV Raspberry Pi Power Supply



Features:

- Official Raspberry Pi Power Supply
- 1.5M Micro USB B Lead
- ErP Level 6 Efficiency Rating
- 50,000 Hour MTBF
- 1 Years Warranty

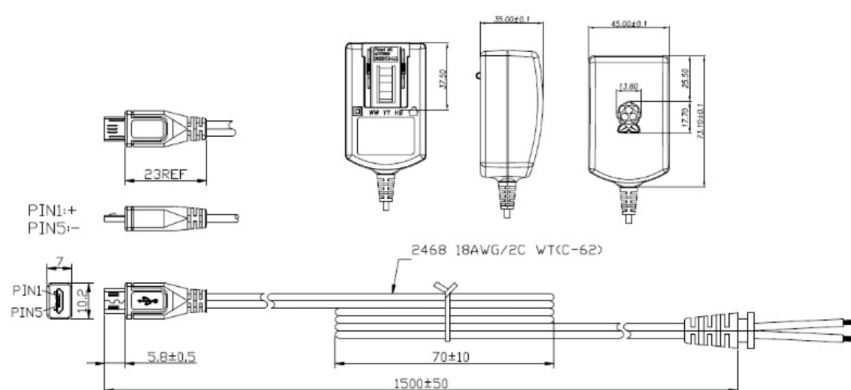


Output	
Output Voltage	+5.1Vdc
Minimum Load Current	0A
Nominal Load Current	2.5A
Nominal Output Power	13W
Output Regulation	+/-5%
Line Regulation	+/-2%
Ripple & Noise	120mVp-p Maximum
Rise Time	100mS Maximum at nominal input
Turn-on Delay	3 Seconds Maximum at nominal input
Protection	Short circuit, over current, over voltage
Efficiency	80.86%
Output Cable	1500mm Micro USB B 5 Pin

Input	
Input Voltage Range	90-264VAC
Input Frequency	47-63Hz
Input Current	0.5A Max
Inrush Current	No damage and IP fuse will not blow
AC Inlet	UK, Euro, Aus & US changeable heads

Other	
Dimensions	73.2 (L) * 45.1 (W) * 35.1 (H) mm
Weight	Approx 150g
Operating Temp.	0 °C to 40 °C
Storage Temp.	-20 °C to +60 °C
Operating Humidity	20 ~ 85 % RH. Non-Condensing
MTBF	50,000 Hours

Diagrams



STONTRONICS

Chancerygate Business Centre, Cradock Road, Reading, Berkshire, RG2 0AH.

Tel: +44 (0) 118 931 1199 • Fax: +44 (0) 118 931 1145 • Email: info@stontronics.co.uk • Web: www.stontronics.co.uk

Please Note: Image shown is representative of entire range. Individual PSU image &/or drawings or data sheets available on request.

Stontronics Ltd accepts no responsibility for typographical errors in the production of this leaflet. Product specifications are subject to change without notice.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Annex C – Llistat d'ordinador de la Raspberry Pi 3B

Aquí es mostra el codi de l'aplicació generada en C# per controlar la Raspberry Pi 3B i la distribució visual del programa amb indicacions sobre els canvis a realitzar per a que funcioni correctament.

C1. Codi de l'aplicació en C#

```

1  using System;           //Declaració de les llibreries necessàries
2  using System.Collections.Generic;
3  using System.ComponentModel;
4  using System.Data;
5  using System.Drawing;
6  using System.Linq;
7  using System.Text;
8  using System.Threading.Tasks;
9  using System.Windows.Forms;
10 using System.Diagnostics;
11 using System.Threading;
12 using WiringPi;
13
14 namespace GeneradorDeFuncions
15 {
16
17     public partial class Form1 : Form
18     {
19         public int Pin1 = 33;           //Es declaren les variables que utilitza
20         l'aplicació
21         public bool activat = false;
22         public double frequencia = 5000;
23         public int frequenciaPWM = 100000;
24         public double percentatgeamplitud = 100;
25         public Form1()
26         {
27             InitializeComponent(); //S'inicialitza la part visual de
28             l'aplicació
29             if (Init.WiringPiSetupPhys() >= 0) //Es comprova si es poden
30             utilitzar els pins de la Raspberry
31             {
32                 GPIO.pinMode(Pin1, (int)GPIO.GPIOpinmode.Output); //Es declara
33                 el Pin1 com a sortida
34             }
35             else //Si no es pot inicialitzar el control dels pins...
36             {
37                 MessageBox.Show("Ha fallat la inicialització dels pins!");
38                 //S'indica a l'usuari que ha fallat la inicialització dels pins
39                 return; //Es tanca l'aplicació
40             }
41         }
42
43         private void listBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
44         //Quan canvia el element triat en la llista de freqüències...
45         {

```

```

41         string freqselect = listBox1.SelectedItem.ToString();
//Es transforma l'element a una variable de text
42         double.TryParse(freqselect, out frequencia);
//S'intenta transformar la variable de text al tipus double
43     }
44
45     private void listBox2_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
//Quan canvia el element triat en la llista de percentatges d'amplitud...
46     {
47         string ampsselect = listBox2.SelectedItem.ToString();
//Es transforma l'element a una variable de text
48         double.TryParse(ampsselect, out percentatgeamplitud);
//S'intenta transformar la variable de text al tipus double
49     }
50
51     private void buttonStart_Click(object sender, EventArgs e)
//Quan es polsa sobre el botó Start("Començar la generació")
52     {
53         activat = true; //S'activa la variable que controla la generació
de l'ona
54         System.Threading.Thread subproces = new
System.Threading.Thread(Generador); //Es genera un nou subprocés que genera el
senyal
55         subproces.Start(); //S'inicia aquest subprocés
56         listBox1.Enabled = false; //Es desactiva la llista de freqüències
57         listBox2.Enabled = false; //Es desactiva la llista de
percentatges d'amplitud
58         buttonStop.Enabled = true; //S'activa el botó Stop("Parar la
generació")
59         buttonStart.Enabled = false; //Es desactiva el botó Start
60     }
61
62     public void Generador() //Declaració del subprocés de generació de
l'ona
63     {
64         if (activat == true) //Si la variable de control està
activada...
65         {
66             double x = 360 * frequencia / frequenciaPWM;
//Es guarda en x el pas d'angle per cicle del senyal PWM
67             while (activat == true) //Mentre la variable de control està
activada...
68             {
69                 double angle = 0; //Es posa a 0 l'angle
70                 while (angle < 360) //Mentre l'angle sigui inferior a
360...
71                 {
72                     double angleenradiants = angle * Math.PI / 180;
//Es passa l'angle a radiants pel càlcul
73                     double multiplicador = (Math.Sin(angleenradiants) + 1)
/ 2; //Es calcula el sinus modificat de l'angle
74                     multiplicador = multiplicador * (percentatgeamplitud /
100); //S'obté el valor final del multiplicador
75                     long TempsON = (long)((1000000 / frequenciaPWM) *
multiplicador); //S'obté el valor del TempsON en us
76                     long TempsOFF = (1000000 / frequenciaPWM) - TempsON;
//S'obté el valor del TempsOFF en us
77                     GPIO.digitalWrite(Pin1, (int)GPIO.GPIOinvalue.High);
//Es col·loca el pin en estat alt

```



```

78         Stopwatch stopwatch = new Stopwatch();
//Es declara un nou comptador
79         stopwatch.Start(); //S'activa el comptador
80         while (stopwatch.ElapsedTicks / (Stopwatch.Frequency /
(1000L * 1000L)) < (TempsON)) //Delay manual de temps: TempsON (en us)
81         {
82
83         }
84         stopwatch.Stop(); //Es para el comptador de temps
85         GPIO.digitalWrite(Pin1, (int)GPIO.GPIOpinvalue.Low);
//Es col·loca el pin en estat baix
86         stopwatch.Start();
//S'activa el comptador de temps
87         while (stopwatch.ElapsedTicks / (Stopwatch.Frequency /
(1000L * 1000L)) < (TempsOFF)) //Delay manual de temps: TempsON (en us)
88         {
89
90         }
91         stopwatch.Stop(); //Es para el comptador de temps
92         angle = angle + x; //Es suma el pas d'angle a l'angle
actual
93     }
94 }
95 }
96 }
97
98     private void buttonStop_Click(object sender, EventArgs e)
//Quan es polsa sobre el botó Stop("Parar la generació")
99     {
100         activat = false; //Es desactiva la variable que controla
la generació de l'ona
101         buttonStart.Enabled = true; //S'activa el botó Start
102         listBox1.Enabled = true; //S'activa la llista de freqüències
103         listBox2.Enabled = true; //S'activa la llista de percentatges
d'amplitud
104         buttonStop.Enabled = false; //Es desactiva el botó Stop
105     }
106 }
107 }

```

C2. Disseny visual de l'aplicació

En la part visual del programa Visual Studio, cal introduir els elements mostrats en la Figura C2.1..

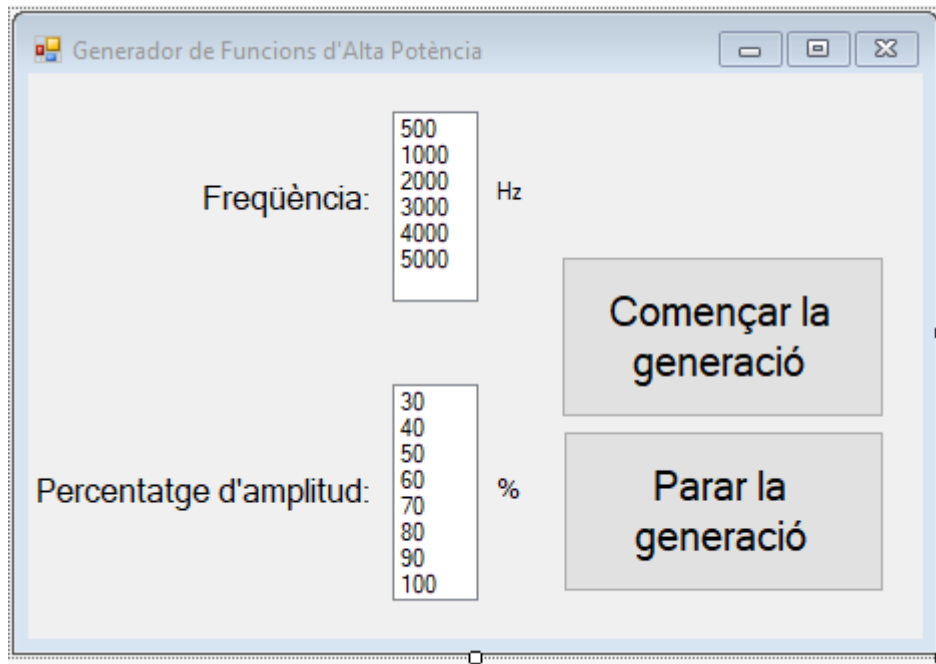


Figura C2.1. Part visual de l'aplicació generada per la Raspberry Pi 3B.(Font: Pròpia)

Aquesta part està formada per 4 "label" que son: "Freqüència:", "Hz", "Percentatge d'amplitud:" i "%". D'aquest només s'ha de canviar la mida del text de "Freqüència:" i "Percentatge d'amplitud:" clicant a sobre seu, i en la part de "Apariencia" polar sobre la creu que desplega el menú de "Font" i en "Size" canviar els números per 12.

En aquesta part també hi ha 2 "listBox" on es important que el de les freqüències es digui "listBox1" i el dels percentatges d'amplituds "listBox2". Per mirar-ho, cal polsar a sobre seu i mirar la propietat que hi ha dins l'apartat "Diseño" que és "(Name)". A més cal introduir els elements de les llistes que es mostren polsant sobre cada "listBox" i en la part superior dreta sortirà una fletxa que senyala a la dreta. S'ha de polsar aquesta fletxa, polsar en "Editar elementos..." i en el quadre de text que sortirà introduir en cada línia cadascun dels elements corresponents.

També hi ha dos botons a la dreta de l'aplicació. Aquest s'han de dir "buttonStart" el de "Començar la generació" i "buttonStop" el de "Parar la generació". Per fer-ho s'ha de canviar la propietat "(Name)" dins de "Diseño" com s'ha indicat prèviament. A més, s'ha de canviar el seu text per a que posi lo que s'indica en la Figura C2.1, polsant sobre cada botó i canviant la propietat "Text" dins de la part de "Apariencia" de les propietats. Finalment, cal també desactivar inicialment el botó "Parar la generació", per fer-ho s'ha de polsar a sobre seu i en la característica "Enabled" de "Comportamiento" seleccionar "False".

Annex D – Plànols

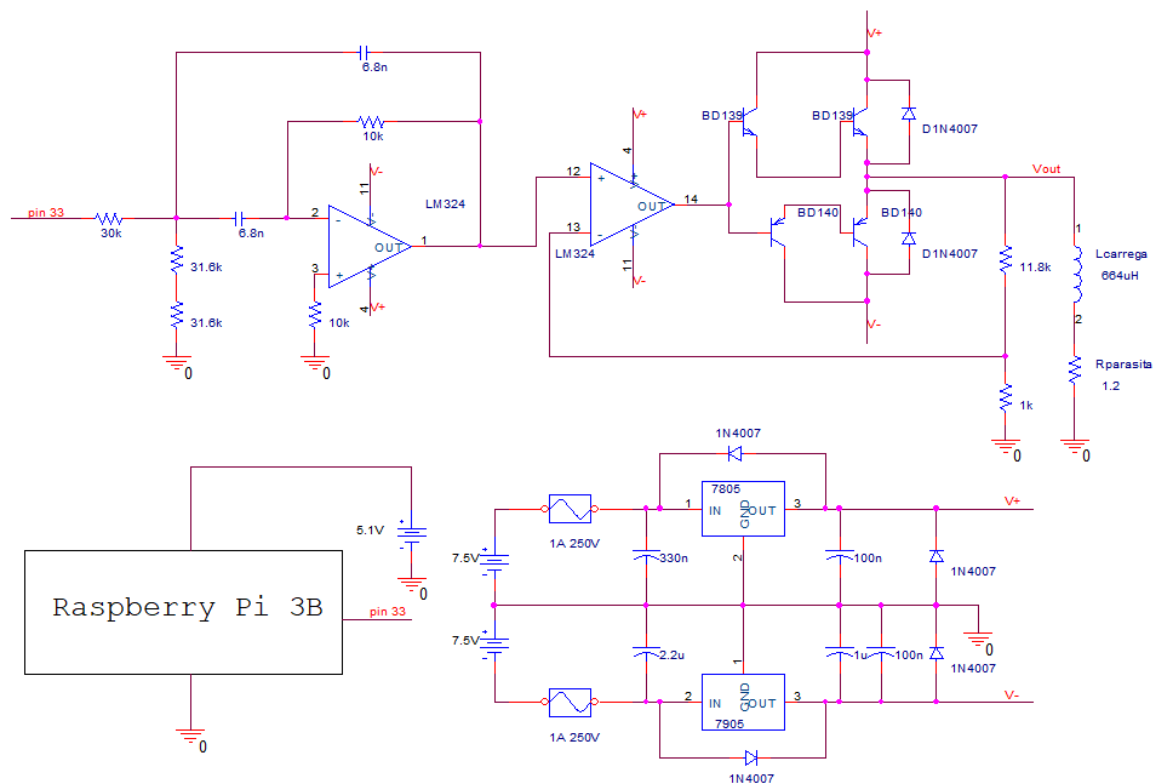


Figura D.1. Plànol general de les connexions del generador de funcions realitzat. (Font: Pròpia)